INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

# Viabilidade técnico-económica do tijolo face à vista em fachadas de edifícios em Portugal

**Daniel Filipe da Silva Mesquita**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
**Engenharia Civil**

**Júri**

Presidente: Doutor Carlos dos Santos Pereira

Orientador: Doutor Jorge Manuel Caliço Lopes de Brito

Vogal: Eng.º António Manuel Baio Dias

**Outubro de 2007**

# Resumo

Esta dissertação de Mestrado, realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico, faz parte de um conjunto de estudos, com o objectivo de avaliar alternativas às actuais soluções de alvenaria exterior em Portugal. A solução analisada nesta dissertação é a de tijolo face à vista (TFV) e os outros estudos são referentes a adobe / taipa, a alvenaria de pedra natural e a madeira.

O tijolo é um material com milénios de História, seguindo evoluções diferenciadas em vários países. Em Portugal, a evolução tornou o tijolo num elemento de enchimento de alvenaria, leve, sem funções estruturais e revestido. Em muitos países, referidos ao longo deste documento, dos quais se pode destacar o Reino Unido, o tijolo é actualmente, como quase sempre foi, um elemento de alvenaria utilizado com face à vista.

Função da referida evolução nacional, a alvenaria de tijolo passou a assumir um papel de pouca relevância, cuja execução exige pouca qualificação técnica. O TFV (tijolo face à vista) requer uma aplicação mais cuidada e rigorosa. Este oferece como vantagens a ausência de trabalhos de reboco e pintura, conduzindo a um acabamento das fachadas no instante da sua aplicação, com uma notável durabilidade e vantagens do ponto de vista estético. O desempenho das tradicionais fachadas de TF (tijolo furado) é idêntico ao do TFV em muitos aspectos. Os custos de execução podem ser inferiores, estando dentro da mesma ordem de grandeza.

O TFV aparenta ser um material competitivo e uma alternativa viável às soluções tradicionais de alvenaria em Portugal. Todas as temáticas referidas são alvo de desenvolvimento cuidado ao longo deste estudo.

**Palavras chave**

Alvenaria, alvenaria armada, tijolo face à vista, tijolo maciço, tijolo furado.

# Abstract

This Masters dissertation was carried out in the context of the Instituto Superior Técnico's Civil Engineering Integrated Masters course and is part of a wider study with the purpose of evaluating the viability of alternative to the current brick masonry widely used in the country. This is a study on facing brick (FB) walls , not covered with stucco or paint. The other studies concern wood, natural stone and earth walls.

Brick is an ancient construction material, with different trends of evolution in several countries. In Portugal brick became cladded veneer masonry element, without structural functions. In many countries, like in England, brick is used mainly as a masonry solution where the brick is often exposed on the exterior.

Due to the historical evolution in Portugal, brick masonry lost importance and became a material whose application demands less technical qualification. The application of FB demands qualified masons in order to have the best results. When compared with the Portuguese traditional hollow brick, FBW has the advantage of dispensing any cladding material, like paint or stucco, the facades are made in a single operation, with esthetical advantages and improved durability. Technically speaking, hollow bricks façade and FB facades have similar performances. FB walls can be a cheaper solution also.

FB walls seems to be a viable alternative solution to the Portuguese traditional hollow brick masonry. The main thematics referred above are developed within the present study.

**Keywords**

Masonry, structural masonry, facade brick, clay brick, hollow brick.

# Agradecimentos

Esta dissertação, cuja autoria me é atribuída, é fruto da colaboração de muitas pessoas e instituições que na mesma colaboraram, mostrando uma grande disponibilidade para me acompanhar e esclarecer ao longo dos meses que dediquei à mesma. Agradeço a todas essas pessoas e peço desculpa pelos nomes que não irei referir, mas foram de facto muitas pessoas. Gostaria de agradecer:

– ao meu orientador, o Professor Jorge de Brito, que fez questão de me acompanhar sempre de perto e sem o qual não conseguiria fazer um trabalho rigoroso e bem estruturado, o rigor e empenho que emprega no seu trabalho são exemplos estimulantes para qualquer jovem estudante que tenha o privilégio de trabalhar com ele;

– à Cerâmica Vale da Gândara (CVG), pela pessoa do seu director técnico, Luís Camarneiro, que mostrou sempre uma grande disponibilidade e interesse no meu trabalho, que me acompanhou em visita às instalações da empresa, esclareceu todas as dúvidas e disponibilizou documentação diversa;

– ao Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro, quer pela pessoa do seu director executivo, Eng.º Baio Dias, quer pelo pessoal dos serviços bibliotecários, cuja disponibilidade e simpatia foi também total para me receber e esclarecer;

– à APICER pelos dados estatísticos fornecidos;

– ao senhor Jim Fredric, Associate Director do National Brick Research Center na Clemson University nos E. U. A, que me esclareceu inúmeras vezes, ao longo de várias conversas efectuadas por e-mail e também ao senhor Andrew Smith, Materials Group Manager do CERAM Building Technology, no Reino Unido, e ao senhor Rafael García da Hispalyt, Espanha, pelos esclarecimentos prestados;

– a todas as pessoas que me são mais próximas e que me acompanharam, que souberam aceitar a minha dedicação a este projecto, quase total no seu período final, e em especial à minha família que me deu todo o apoio necessário, como sempre aconteceu ao longo de todo o meu período académico.

# Índice geral

**1 INTRODUÇÃO ..... 1**

1.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES ..... 1
1.2 OBJECTIVOS DA DISSERTAÇÃO ..... 2
1.3 METODOLOGIA ..... 2
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO ..... 3

**2 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA ..... 5**

2.1 O NASCIMENTO DO TIJOLO ..... 5
2.2 DESCOBERTA DO TIJOLO CERÂMICO ..... 6
2.3 O DECLÍNIO E RENASCIMENTO DO TIJOLO À VISTA ..... 10
2.4 O SÉCULO XX ..... 11
2.5 A EVOLUÇÃO DA ALVENARIA DE TIJOLO EM PORTUGAL ..... 12

**3 PANORAMA ACTUAL DO TFV ..... 17**

3.1 PANORAMA MUNDIAL ..... 17
*3.1.1 E. U. A. ..... 18*
*3.1.2 Reino Unido ..... 18*
*3.1.3 Espanha ..... 19*
*3.1.4 Outros países da Europa ..... 19*
*3.1.5 Brasil e Índia ..... 20*
*3.1.6 China ..... 21*
3.2 O CASO PORTUGUÊS ..... 23
3.3 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL ..... 24
*3.3.1 Problemática da Normalização Europeia ..... 24*
*3.3.2 Eurocódigo 6 ..... 26*
*3.3.3 Regulamentação Nacional ..... 27*
3.4 PRINCIPAIS FACTORES QUE CONDICIONAM A APLICAÇÃO DO TFV EM PORTUGAL ..... 28
3.5 PRINCIPAIS OBRAS RECENTES DE TFV EM PORTUGAL ..... 29

**4 TFV ENQUANTO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO ..... 31**

4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MATERIAL ..... 31
4.2 EXIGÊNCIAS NORMATIVAS PARA A MARCAÇÃO CE ..... 33
*4.2.1 Tolerâncias dimensionais ..... 34*
*4.2.2 Massa volúmica ..... 34*
*4.2.3 Resistência à compressão ..... 34*
*4.2.4 Propriedades térmicas ..... 34*

*4.2.5 Durabilidade* ..... *35*
*4.2.6 Absorção de água* ..... *35*
*4.2.7 Teor de sais solúveis activos* ..... *35*
*4.2.8 Aspecto visual dos TFV* ..... *36*
*4.2.9 Expansão com a humidade* ..... *36*
*4.2.10 Reacção ao fogo* ..... *36*
*4.2.11 Permeabilidade ao vapor de água* ..... *36*
*4.2.12 Aderência* ..... *37*
*4.2.13 Notas finais* ..... *37*
4.3 PROCESSO DE FABRICO DO TFV ..... 39
*4.3.1 Extracção das matérias-primas* ..... *39*
*4.3.2 Pré-preparação* ..... *40*
*4.3.3 Preparação* ..... *41*
*4.3.4 Conformação* ..... *41*
*4.3.5 Secagem* ..... *42*
*4.3.6 Cozedura* ..... *43*
*4.3.7 Embalagem do material* ..... *44*
**5 ALVENARIA DE TFV ..... 45**
5.1 EXECUÇÃO ..... 45
*5.1.1 Fachadas correntes* ..... *45*
5.1.1.1 Medidas a efectuar antes de iniciar a aplicação ..... 46
5.1.1.2 Metodologia de assentamento ..... 47
5.1.1.3 Manuseamento da argamassa de assentamento e execução de juntas ..... 49
5.1.1.4 Constituição das argamassas de assentamento e cuidados especiais ..... 51
5.1.1.5 Traços tipo e resistência das argamassas de assentamento ..... 53
5.1.1.6 Grampeamento ..... 55
5.1.1.7 Caixa-de-ar e isolamento ..... 57
5.1.1.8 Juntas de dilatação ..... 59
5.1.1.9 Peças especiais ..... 63
5.1.1.10 Armaduras ..... 63
5.1.1.11 Impermeabilização na base das paredes ..... 65
5.1.1.12 Impermeabilização nas aberturas da fachada ..... 66
5.1.1.13 Acabamento ..... 67
5.1.1.14 Fachadas ventiladas ..... 68
5.1.1.15 Notas finais ..... 69
5.2 RENDIMENTOS DE EXECUÇÃO ..... 69
*5.2.1 Pressupostos assumidos* ..... *70*
*5.2.2 Metodologia de cálculo* ..... *70*
*5.2.3 Solução de TFV* ..... *71*
*5.2.4 Solução de TF* ..... *71*
*5.2.5 Análise de resultados* ..... *72*

5.3 EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS E REGULAMENTARES DE PAREDES DE TFV ..... 73
*5.3.1 Exigências de segurança* ..... *73*
5.3.1.1 Segurança estrutural ..... 73
5.3.1.2 Segurança ao fogo ..... 74
*5.3.2 Exigências de saúde e conforto* ..... *76*
5.3.2.1 Conforto acústico ..... 78
5.3.2.2 Estanquidade ..... 79
5.3.2.3 Conforto visual e táctil ..... 79
5.3.2.4 Durabilidade ..... 80
*5.3.3 Exigências de economia* ..... *80*

**6 TFV E A ALVENARIA ESTRUTURAL ..... 81**

6.1 EUROCÓDIGOS ..... 83
6.2 PANORAMA MUNDIAL ..... 83

**7 ANÁLISE ECONÓMICA ..... 87**

7.1 ENTRAVES À ANÁLISE ECONÓMICA ..... 87
7.2 ESTUDO COMPARATIVO DE SOLUÇÕES DE FACHADA EFECTUADO PELA CVG ..... 89
*7.2.1 Análise de resultados* ..... *90*
7.3 CUSTOS DE MANUTENÇÃO ..... 90

**8 PERSPECTIVAS DE FUTURO ..... 93**

8.1 PORTUGAL ..... 93
8.2 EUROPA ..... 94

**9 CONCLUSÃO ..... 97**

9.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS ..... 97
9.2 CONCLUSÕES GERAIS ..... 98
9.3 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS ..... 100

**REFRÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ..... 103**

**ANEXOS. ..... A.1**

# Índice de figuras

Fig. 2.1 – Representação de molde utilizado pelos Egípcios. ..... 6
Fig. 2.2 – Tijolos de lama e palha a secarem ao sol. ..... 6
Fig. 2.3 – Ruínas do zigurate de Al-Untesh-Napirisham com 28 metros de altura e 62 $m^2$ de base ..... 7
Fig. 2.4 – Tijolo no Portão Ishtar (64-562 a. C.), Babilónia. ..... 7
Fig. 2.5 – Templos de Bagan, na Birmânia. ..... 9

Fig. 2.6 – Catedral de Roskilde, ilha de Zelândia na Dinamarca. ..... 9
Fig. 2.7 – Edifício Chrysler. ..... 11
Fig. 2.8 – Grundtvigkirke, Copenhaga, obra do arquitecto Peder Jensen-Klint, terminada em 1940. ..... 11
Fig. 2.9 – Antigo terminal rodoviário convertido em estacionamento. ..... 13
Fig. 2.10 – Restaurantes em antigos edifícios industriais nas docas de Lisboa. ..... 13
Fig. 2.11 – Alvenarias de pedra reforçada com tijolo na zona de um vão. ..... 13
Fig. 2.12 – Museu da Electricidade. ..... 13
Fig. 2.13 – Praça de Touros do Campo Pequeno. ..... 13
Fig. 2.14 – Síntese da evolução da alvenaria em Portugal. ..... 16
Fig. 3.1 – Mapa de utilização de tipos de tijolo na Europa. ..... 17
Fig. 3.2 – Gráfico de percentagens de utilização de tipos de tijolo em alguns países da Europa ..... 17
Fig. 3.3 – Materiais usados em panos exteriores de alvenaria ..... 20
Fig. 3.4 – Materiais de revestimento de edifícios construídos de 1991 a 2001. ..... 23
Fig. 3.5 – Vista de uma das fachadas de TFV do Hotel Vila Galé Ópera ..... 30
Fig. 3.6 – Vista perpendicular às duas "lâminas" do Hotel Vila Galé Ópera. ..... 30
Fig. 3.7 – Conjunto habitacional (PER) na Rua da Seara. ..... 30
Fig. 3.8 – Detalhe de fachada de TFV com junta de dilatação no conjunto habitacional (PER) na Rua da Seara ..... 30
Fig. 4.1 – Alguns dos TFV comercializados pela CVG. ..... 31
Fig. 4.2 – TFV com diferentes dimensões e estruturas. ..... 31
Fig. 4.3 – Representação esquemática do processo de fabrico do tijolo cerâmico. ..... 39
Fig. 4.4 – Barreiro da CVG. ..... 40
Fig. 4.5 – Argila após extracção, junto ao doseador que dá início à pré-preparação. ..... 40
Fig. 4.6 – Laminador simples. ..... 41
Fig. 4.7 – Laminador articulado. ..... 41
Fig. 4.8 – Fieira aberta para manutenção. ..... 42
Fig. 4.9 – Dispositivo para texturar tijolos. ..... 42
Fig. 4.10 – Câmara de secagem de tijolo com o ventilador ao centro. ..... 43
Fig. 4.11 – Forno tipo túnel. ..... 44
Fig. 4.12 – Vagões após saída do forno. ..... 44
Fig. 5.1 – Aplicação correcta (em cima) e errada (em baixo) de TFV num vão de janela. ..... 47
Fig. 5.2 – Aplicação de uma camada a seco, tendo em conta a localização das aberturas existentes na fachada. ..... 47
Fig. 5.3 – Metodologia de selecção de tijolos para aplicação. ..... 48
Fig. 5.4 – Aplicação dos primeiros tijolos em pontos de referência. ..... 48
Fig. 5.5 – Bitola fixa no canto da parede. ..... 48
Fig. 5.6 – Verificação do alinhamento vertical das juntas. ..... 48
Fig. 5.7 – Aplicação de tijolos de diferentes dimensões numa fachada. ..... 49
Fig. 5.8 – Colocação de argamassa no topo do tijolo. ..... 50
Fig. 5.9 – Assentamento do tijolo, pressionando as duas superfícies com argamassa. ..... 50

Fig. 5.10 – Correcto procedimento de corte da argamassa. ....50
Fig. 5.11 – Diversos utensílios para a execução de juntas em TFV. ....50
Fig. 5.12 – Diferentes tipos de juntas de TFV. ....50
Fig. 5.13 – Caso grave de eflorescências numa parede de TFV ....53
Fig. 5.14 – Alguns grampos utilizados em Portugal. ....55
Fig. 5.15 – Fixação de grampos em a) em alvenaria de tijolo e b) parede de betão armado. ....56
Fig. 5.16 – Medidas mínimas recomendadas para fixação de grampos. ....56
Fig. 5.17 – Fixação de TFV a fachada de betão com saliência. ....56
Fig. 5.18 – Fixação de TFV a fachada de betão oblíqua. ....56
Fig. 5.19 – Sistema para manter a caixa-de-ar sem argamassa e perigo de colocação de tijolos mal cortado. ....58
Fig. 5.20 – Grampos com sistema de fixação do isolamento térmico ao pano interior de alvenaria. ....58
Fig. 5.21 – Juntas para escoamento. ....59
Fig. 5.22 – Corte da zona da caleira de escoamento de uma parede dupla de TFV. ....59
Fig. 5.23 – Caleira "triangular" revestida com membrana isolante. ....59
Fig. 5.24 – Ausência de caleira de escoamento na base da caixa-de-ar. ....59
Fig. 5.25 – Dois tipos de junta vertical, acompanhando o disposição das juntas e através de corte vertical. ....60
Fig. 5.26 – Exemplo prático de execução de junta vertical sem corte. ....60
Fig. 5.27 – Distribuição das juntas de movimento. ....61
Fig. 5.28 – Fissura na parte inferior de um vão de janela. ....61
Fig. 5.29 – Exemplo de aplicação de juntas de dilatação em zona de vão (Klaas, 1993). ....61
Fig. 5.30 – Parâmetros dimensionais para o fecho de junta. ....62
Fig. 5.31 – Execução de alvenaria em zonas de junta de dilatação. ....62
Fig. 5.32 – Sistema de suspensão para vãos de fachada de TFV. ....63
Fig. 5.33 – Zonas mais susceptíveis de fissuração numa fachada e disposição das respectivas armaduras para o evitar. ....64
Fig. 5.34 – Colocação de armadura durante o assentamento do TFV. ....65
Fig. 5.35 – Dimensões da armadura face à espessura da junta. ....65
Fig. 5.36 – Membrana DCP - *Damp-proof courses*. ....66
Fig. 5.37 – Aplicação errada (a e c) e aplicação correcta (b) da membrana. ....66
Fig. 5.38 – Exemplo de impermeabilização sem saliência na parede. ....66
Fig. 5.39 – Exemplo de impermeabilização com saliência na parede. ....66
Fig. 5.40 – Solução de impermeabilização de vão. ....67
Fig. 5.41 – Solução de impermeabilização para zona do peitoril. ....67
Fig. 5.42 – Exemplo de sistemas de sustentação comercializados em Portugal. ....68
Fig. 5.43 – Sistemas de fixação na base e a meio da fachada. ....68
Fig. 5.44 – Exemplos de pontes térmicas. ....77
Fig. 5.45 – Tijolo com elevada absorção acústica. ....78
Fig. 6.1 – Exemplo de secção transversal de uma parede de face à vista. ....82

Fig. 6.2 – Exemplo de secção transversal de uma parede-cortina. ....82
Fig. 6.3 – Parede com armadura pré-fabricadas colocadas nas juntas de assentamento. ....82
Fig. 6.4 – Parede com armaduras colocadas em pilares embebidos resultantes da forma de assentamento das unidades. ....82
Fig. 6.5 – Parede de alvenaria resistente em Esgueira, Aveiro. ....82
Fig. 6.6 – Tipologia das paredes em função dos fins a que se destinam. ....82
Fig. 6.7 – Sismos ocorridos no mundo desde 1957 a 2007 com magnitude igual ou superior a 6 na escala de Richter. ....84
Fig. 6.8 – Sismos na Europa com magnitude igual ou superior a 8. ....84
Fig. 6.9 – Parede de betão armado betonada contra duas paredes de alvenaria estrutural à vista. ....85
Fig. 6.10 – Alvenaria estrutural armada. ....85
Fig. 6.11 – Construção em casca de alvenaria cerâmica armada, inspirada no trabalho de Dieste, em Espanha. ....85
Fig. 6.12 – Torre de água de E. Dieste. ....85
Fig. 7.1 – Gráfico de análise dos vários custos de cada solução de fachada. ....90
Fig. 8.1 – Tensões numa parede de alvenaria sob a acção de uma acção horizontal com as juntas verticais preenchidas (a) e sem as juntas verticais preenchidas (b). ....95
Fig. 8.2 – Doseador de argamassa do tipo "pistola". ....96
Fig. 8.3 – Doseador de argamassa para juntas finas. ....96

# Índice de quadros

Quadro 3.1 – Materiais usados em panos exteriores de alvenaria na Bélgica e Países Baixos por ordem descendente de importância. ....20
Quadro 3.2 – Resultados de alguns testes comuns a tijolos com diferentes percentagens de cinza de carvão. ....22
Quadro 3.3 – Resistência à compressão de tijolos após ensaios de resistência ao congelamento e acção cal-magnésio. ....22
Quadro 4.1 – Ficha técnica de alguns dos TFV produzidos pela CVG. ....32
Quadro 4.2 – Critérios de aceitação com base na revogada NP 80. ....32
Quadro 4.3 – Classificação de tijolo cerâmico. ....33
Quadro 4.4 – Categorias de teores de sais solúveis activos. ....35
Quadro 4.5 – Características essenciais dos tijolos cerâmicos relevantes para a marcação CE. ....38
Quadro 5.1 – Requisitos da granulometria das areias. ....51
Quadro 5.2 – Composição e resistência característica segundo a Norma Espanhola UNE 83-800-94. ....54
Quadro 5.3 – Exemplos de traços de argamassa de assentamento de TFV. ....54
Quadro 5.4 – Área e número de grampos em alguns países. ....56
Quadro 5.5 – Necessidades de recursos humanos por hora para a realização de 1 $m^2$ de alvenaria de TFV. ....71

Quadro 5.6 – Necessidades de recursos humanos por hora para a realização de 1 $m^2$ de alvenaria de TF. .....72
Quadro 5.7 – Análise de resultados entre o consumo de recursos humanos para a realização de 1 $m^2$ de alvenaria em TFV e TF. .....72
Quadro 5.8 – Espessura mínima de paredes face às exigências contra incêndios .....75
Quadro 5.9 – Resistências térmicas [$m^2$.ºC/W] de paredes simples de alvenaria de tijolo. .....77
Quadro 5.10 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica de duas soluções de alvenaria (TF e TFV), com base no R.C.C.T.E.. .....77
Quadro 7.1 – Custo comparativo de soluções de alvenaria. .....88
Quadro 7.2 – Solução de reboco pintado. .....89
Quadro 7.3 – Solução de plaqueta cerâmica. .....89
Quadro 7.4 – Solução de TFV. .....89
Quadro 7.5 – Previsão de custos de manutenção em 10 anos. .....91

# 1 Introdução

## 1.1 Considerações preliminares

A construção em Portugal assume ainda um papel muito importante na economia nacional. É por isso essencial dedicar-lhe alguma atenção, procurando sempre encontrar soluções de maior eficiência e desempenho superior, obtendo em simultâneo soluções mais económicas e sustentáveis.

As paredes de alvenaria dos edifícios são elementos preponderantes no correcto desempenho destes e uma das principais fontes da patologia de edifícios em Portugal. Em território nacional, o leque de opções para a construção de paredes é muito limitado. No que diz respeito à alvenaria, são utilizadas várias alternativas, como os blocos sílico-calcários, vários tipos de solução de betão com propriedades melhoradas para aplicação em alvenarias e o tijolo face à vista (TFV), maciço ou com outra cultura construtiva.

Países mais desenvolvidos ou com outra cultura construtiva utilizam amplamente o tijolo face à vista, ao contrário do que acontece em Portugal. Especula-se sobre custos, sobre desempenho, mas não existem documentos técnicos nacionais que justifiquem convenientemente os motivos da não implementação deste material. Chega a ser intrigante o motivo que leva um material tão tradicional como o tijolo, maciço, ou perfurado, quase sempre à vista, a ser utilizado em países com tantas soluções tecnológicas e poder financeiro, como no caso do Reino Unido ou E. U. A. A utilização de TFV em Portugal existe, mas de uma forma muito discreta.

A avaliação do desempenho e viabilidade na utilização de um material de construção não pode ser feita em termos globais. É por isso importante que se façam estudos nacionais, complementados com estudos internacionais, de novas soluções e de alternativas que já são aplicadas de forma generalizada em outros países da União Europeia. No caso específico do TFV, trata-se de uma solução que nunca deixou de ser utilizada, que tem provas históricas da sua qualidade e que tem sido alvo de muitas melhorias, dando resposta aos requisitos funcionais da actualidade.

## 1.2 Objectivos da dissertação

O objectivo deste trabalho é perceber os motivos da não aplicação do TFV em Portugal, os motivos da sua aplicação de forma generalizada em tantos países, grande parte dos quais mais desenvolvidos economicamente do que Portugal, e até que ponto esta pode ser uma solução competitiva em termos técnicos e económicos no nosso país, face à solução mais corrente, o tijolo furado (TF).

Através de uma análise da evolução histórica do material em Portugal e no mundo e do tipo de materiais de alvenaria utilizados em diversos países, procura-se encontrar motivações para a utilização das diversas soluções de alvenaria em diversos países, fazendo depois o paralelismo com a situação nacional, encontrando assim os motivos que levam à pouca aplicação nacional.

Esta dissertação pretende também dar um contributo relativo à correcta aplicação do material e cuidados a ter, visto que a documentação nacional é muito reduzida no campo da aplicação do TFV e o seu rigor de aplicação é essencial para o seu desempenho. Pretende-se fazer um enquadramento com a normalização em vigor, analisando as características técnicas do material, fazendo comparações com o TF, sempre que oportuno.

Procura-se perceber a relação que o TFV tem com a alvenaria estrutural, e a viabilidade desta em Portugal. Por fim, pretende-se apontar que inovações se esperam para este material e que são alvo de investigação actualmente.

## 1.3 Metodologia

A realização deste trabalho pressupõe a leitura de documentação diversa, incluindo legislação aplicável, documentação técnica nacional e internacional, compilações de congressos nacionais e internacionais de alvenarias, artigos de revistas da especialidade, nacionais e internacionais e livros com informação diversa. A obtenção desta documentação foi feita por aquisição dos documentos, consulta em bibliotecas diversas e recursos *online*.

Foram efectuadas diversas visitas ao CTCV (Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro) para troca de impressões e consulta da sua excelente biblioteca, à unidade industrial da CVG (Cerâmica Vale da Gândara) e ainda à APICER (Associação Portuguesa da Indústria Cerâmica).

Foram ainda desenvolvidos contactos com especialistas da área da cerâmica estrutural nos E. U. A., Reino Unido e Espanha, de forma a conseguir obter impressões sobre a realidade desses países em termos de alvenaria.

## 1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em nove capítulos. Descreve-se de seguida o conteúdo de cada um deles de forma resumida.

O capítulo 1 pretende fazer um enquadramento no tema em estudo, explicar as motivações, os objectivos e a metodologia utilizada para os cumprir. É apresentado resumidamente o conteúdo dos vários capítulos que compõem a dissertação.

O capítulo 2 apresenta a evolução histórica do tijolo, desde os primeiros registos da sua existência até aos dias de hoje, com particular ênfase para o último século, período alvo de especial atenção relativamente a Portugal. Ao longo do capítulo, são apresentados exemplos de algumas das obras mais notáveis em TFV construídas pelo Homem, existentes um pouco por todo o mundo, e antigos edifícios de TFV que ainda subsistem em Portugal.

No capítulo 3, é feita uma contextualização com a realidade actual deste material em Portugal e noutros países. São dados exemplos de aplicação em território nacional e são feitas algumas considerações relativamente aos motivos da fraca implementação no país. É ainda referida a legislação aplicável a nível nacional e analisado o processo de normalização Europeia.

O capítulo 4 analisa o material TFV à luz do seu desempenho e da legislação aplicável e respectivas exigências normativas para a marcação CE. É feito um paralelismo com o TF sempre que oportuno. São apresentadas características técnicas fundamentais de alguns TFV fabricados em Portugal e é descrito o processo de fabrico do TFV.

O capítulo 5 apresenta os pontos principais de uma correcta execução de paredes duplas com pano exterior em TFV, com especial atenção aos tipos de argamassa a utilizar, acessórios, juntas de dilatação, técnicas de impermeabilização e uma breve referência à aplicabilidade em sistema de fachada ventilada. Analisam-se os rendimentos de execução da solução anterior comparativamente a uma solução tradicional com dois panos de alvenaria em TF. No final, são apresentadas as exigências técnicas e regulamentares das alvenarias de TFV, comparando com as soluções tradicionais sempre que tal se justifique.

No capítulo 6, é analisada a relação entre o TFV e a alvenaria estrutural e apresentados alguns exemplos de aplicação. É discutida a sua utilização da alvenaria estrutural em Portugal e no mundo, relacionando-a com a alvenaria de TFV. Procuram-se justificações para a fraca implementação em território nacional deste tipo de solução. No final, são apresentados exemplos de aplicação de alvenaria estrutural em construções especiais.

O capítulo 7 apresenta estudos económicos sucintos realizados pela CVG e respectiva análise. Os estudos contemplam análises de custos de execução de soluções de TF, TFV e de TF revestido com plaqueta cerâmica e estudos de custos de manutenção de fachadas de TF e TFV num horizonte de 10 anos.

No capítulo 8, são apontadas algumas recomendações e perspectivas de evolução do mercado da construção em Portugal, com vista a solucionar algumas carências que dificultam a implementação mais ampla de soluções como o TFV. São referidas as principais áreas de pesquisa mundial na área das alvenarias, referindo-se inovações já implementadas em alguns países e as implicações para a continuidade da aplicação do TFV.

No capítulo 9, são apresentadas as principais conclusões deste estudo. São referidos resultados de desempenho relativo do TFV face ao TF, rendimentos de execução, custos e motivos da pouca utilização do TFV em Portugal. São ainda apontados factores de interesse a ter em atenção e ser investigados, quer em termos científicos, quer em termos de mercado.

# 2 Contextualização histórica

## 2.1 O nascimento do tijolo

O tijolo remonta a épocas muito longínquas, sendo impossível definir com precisão as suas origens. Campbell (2005) considera que o tijolo remonta à era do Neolítico, ou seja, por volta de 10.000 a. C., mas reforça a incerteza dos números. Este é um período em que o Homem se afirma como ser sedentário, dominador da técnica do fogo, começando a viver, essencialmente, da agricultura e da pecuária. Surge nesta altura a preocupação em adaptar cada vez mais o meio envolvente a si, em detrimento do oposto. Neste período, o Homem começa a delimitar os seus espaços e a desenvolver assim a construção.

Os tijolos mais antigos de que se tem conhecimento até hoje foram encontrados em Jericó, junto ao Mar Morto, numa das povoações mais antigas que se conhecem. Os tijolos eram de lama, moldados manualmente e secos ao sol, apresentando uma consistência maior do que a lama por si só. Eram muito irregulares, carecendo de grandes quantidades de argamassa de lama para os ligar, argamassa esta que representava o elo mais fraco da matriz criada, especialmente aquando da ocorrência de precipitação. A resistência era a vantagem mais óbvia face à utilização directa de lama para o mesmo propósito e a trabalhabilidade, a abundância de matéria-prima e a facilidade de transporte foram factores que tornaram esta solução interessante face à pedra. O tijolo era assim um meio termo entre dois materiais já existentes.

Um dos principais avanços técnicos no fabrico de tijolo foi a utilização de moldes (Figura 2.1), inicialmente na Mesopotâmia, há 4000 anos, impulsionado pela carência de pedra, que era amplamente utilizada até então (Simões, 1966). Julga-se que os primeiros moldes foram feitos antes da descoberta do ferro, sendo difícil perceber como eram feitos com as limitadas ferramentas de pedra da época já que, segundo Campbell (2005), tal "permanece um mistério". Esta técnica chegou rapidamente ao Egipto, onde foi aperfeiçoada, chegando a ser utilizado tijolo para a construção de pequenos arcos, algo que nunca fora feito com a pedra até esta altura. As grandes construções, como as pirâmides, eram feitas em pedra. No entanto, as habitações menos nobres, dos trabalhadores, eram feitas de tijolo. Esta hierarquia iria sofrer alterações ao longo dos tempos.

A utilização de moldes permitiu uma produção de tijolos de forma muito mais regular e rápida. Estes tijolos da Antiguidade eram, aproximadamente, o que o hoje se designa por adobe. Eram tijolos de lama e palha (Figura 2.2), colocados em moldes que apenas envolviam o tijolo lateralmente, sendo o fundo do molde. O chão e a parte de cima propositadamente aberta para se fazer o corte do excesso de matéria-prima e permitir a secagem ao sol. Os tijolos secos ao sol e especialmente os primeiros tijolos de lama apresentavam pouca durabilidade quando sujeitos à acção da água, quer sob a já referida forma de precipitação, quer sob a forma de cheias provocadas pela subida dos leitos dos grandes rios.

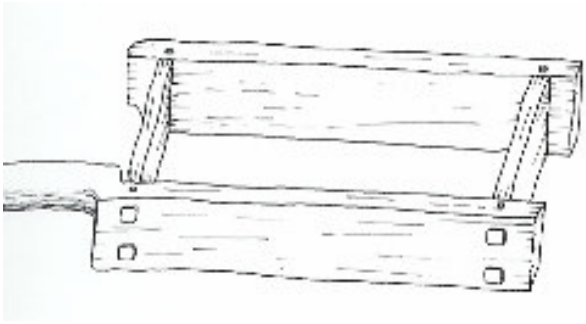


**Fig. 2.1 – Representação de molde utilizado pelos Egípcios (Campbell, 2005).**

**Fig. 2.2 – Tijolos de lama e palha a secarem ao sol (Campbell, 2005).**

## 2.2 Descoberta do tijolo cerâmico

A cozedura de material cerâmico é fundamental para se obter um aumento de resistência deste. Apesar de essa técnica ser conhecida há mais de 8000 anos, para o fabrico de peças cerâmicas de utilidade variada, a sua aplicação aos materiais para construção, de forma notória, ocorreu apenas no período de 3100 a 2900 a. C.. Julga-se que esta actividade terá surgido novamente na Mesopotâmia, pois no Egipto, devido à existência de pedra (Simões, 1966), a necessidade de usar material com maiores resistências era colmatada com facilidade. Durante milhares de anos, houve conhecimento da técnica, mas esta não foi utilizada em tijolos. Campbell (2005) justifica esta situação pela facilidade de fabrico de tijolo de lama, que cumpria as expectativas da época, ao contrário do que acontecia com outros objectos que tinham necessariamente de oferecer maior resistência. O tijolo de lama não requeria uma selecção cuidada de matéria-prima, não precisava de nenhuma fonte de energia para

além do sol, podia ser fabricado por qualquer pessoa, sem necessidade de qualquer conhecimento especial. O tijolo cerâmico cozido requeria a escolha de argila apropriada, algo que na época, muitas vezes, só era possível saber depois de efectuar a cozedura, requeria também temperaturas controladas, que deveriam rondar os 950 a 1100 ºC, sob risco de se obterem tijolos de fraca resistência para temperaturas abaixo e disformes para temperatura demasiado elevadas. Era necessária alguma qualificação para o fabrico do tijolo cozido, tornando-se um material de luxo a utilizar em edifícios da realeza.

A utilização de tijolo cozido foi sendo lentamente generalizada e a sua produção tornou-se um processo industrial bem definido. Começou por ser utilizado apenas na base dos edifícios para aumentar a resistência dos mesmos à erosão provocada pelo escoamento das águas e mais tarde em todo o exterior. Populações como as da Mesopotâmia e Babilónia deixaram vestígios de obras notáveis, como os *zigurates*, templos da época, que chegavam a atingir, pelo menos, os 55 metros de altura, tendo-se destacado os Babilónios pelos progressos nas técnicas de coloração, vidrado e moldagem do tijolo, tal como mostram as figuras 2.3 e 2.4, respectivamente.

**Fig. 2.3 – Ruínas do zigurate de Al-Untesh-Napirisham com 28 metros de altura e 62 m$^2$ de base (Campbell, 2005).**

**Fig. 2.4 – Tijolo no Portão Ishtar (64-562 a. C.), Babilónia (Campbell, 2005).**

O império romano foi responsável por um grande desenvolvimento na aplicação do tijolo (Simões, 1966), desenvolvendo a técnica e divulgando-a por todo o império, tendo criado algumas obras notáveis. Campbell, no entanto chama a atenção para as poucas referências a este material nos escritos de Vitrúvio, colecção de 10 livros que falavam sobre a arquitectura romana, "o mais primitivo manual de construção que sobreviveu desde a Antiguidade", sendo a maioria das referências relativa a tijolo seco ao sol. Este ponto suscita algumas dúvidas sobre a efectiva difusão do tijolo

efectuada pelo império romano, existindo várias teorias para justificar este facto, como a data das escrituras (que se julga ser 20 a 30 a. C.) ser anterior à utilização massiva do tijolo ou a eventual falta de confiança de Vitrúvio no material. Muitos autores basearam-se nos escritos de Vitrúvio, deixando também de parte o tijolo em escritos semelhantes. A única prova da sua vasta utilização, pelo menos inicialmente, acaba por ser o legado de obras romanas em tijolo que foram sendo descobertas.

No século II d. C., o tijolo era já uma das mais importantes indústrias de produção e comércio do império romano. Surgiram inovações como a inclusão de areia para minimizar a retracção da argila dos tijolos durante a cozedura, o refechamento das juntas, de forma plana ou côncava e uma produção de tijolos mais diversificada, incluindo tijolos ocos e curvos. Começaram a surgir tamanhos definidos com designações próprias e fornos elaborados especificamente para a cozedura de tijolos. Foi neste período que recomeçou a ser utilizado o tijolo à vista, algo que existiu inicialmente por ausência de capacidade técnica para aplicar revestimentos eficazes, voltando a ser utilizado dessa forma, para fins decorativos, nesta altura em que já se aplicavam revestimentos de estuque primitivo e de pedra. O tijolo enquanto elemento de construção estrutural encontrou um rival de peso: o betão. Os romanos usaram a cal para a produção de betões que usavam para fazer paredes, usando tijolos cortados ao meio ou em triângulos para executar o revestimento exterior destas paredes, imitando o acabamento deixado por uma parede realizada com tijolo à vista. O tijolo inteiro era usado para cercar vãos e para servir como mais um agregado a incluir no betão, sendo por vezes talhado como se de pedra se tratasse. As paredes inteiramente executadas em tijolo eram difíceis de encontrar.

Notáveis obras romanas, como o Coliseu ou o Panteão, possuem uma quantidade significativa de tijolo, mas sempre como material auxiliar, sendo o betão o principal. Campbell, no entanto, parece entrar um pouco em contradição quando afirma que “no século I, o tijolo começou a substituir a pedra como material de eleição”.

É interessante notar que, no Oriente, mais especificamente na China, se deu um desenvolvimento de produção e utilização de tijolo que parece ter sido independente da existente no Ocidente. Aqui os tijolos, apesar de cozidos, eram assentes a seco ou com lama, tendo sido por isso desenvolvidos sistemas de encaixe nos tijolos para conferir estabilidade às construções. Existiam sistemas de encaixe diversos, muitos

deles formando espaços ocos, aligeirando as construções e tornando-as mais económicas.

À semelhança do império romano, outros impérios, como o árabe (Alves, 1966), com civilizações mais desenvolvidas do que os povos por eles subjugados, levaram também à expansão da técnica de fabricar e aplicar tijolo. Era um material cada vez mais usado em edifícios de culto religioso.

A partir do século X, o tijolo acabou por ser difundido por todo o mundo civilizado. Destaca-se a Ásia, que não tinha sido alvo da ocupação romana e a Itália, por se ter mantido "na vanguarda da tecnologia de tijolos". O Norte da Europa começou a utilizar de forma significativa o tijolo apenas a partir do século XII. Cada vez mais, as grandes catedrais e palácios foram construídos em tijolo, tendo muitos resistido ao passar dos séculos, mantendo o esplendor de outrora. Entre muitos, podem referir-se os templos de Bagan na Birmânia, que se estima serem ainda cerca de 2000 (figura 2.5), ou a grande Catedral de Roskilde que foi construída com 3 milhões de tijolos (figura 2.6). O crescente poder das religiões na sociedade fez nascer grandes edifícios de culto, muitos deles em tijolo.

**Fig. 2.5 – Templos de Bagan, na Birmânia (Campbell, 2005).**

**Fig. 2.6 – Catedral de Roskilde, ilha de Zelândia na Dinamarca (Campbell, 2005).**

A partir do século XV, existem dois países que se destacam pelo legado de obras de tijolo de face à vista na Europa. Um deles é a Itália que já contava com uma reconhecida tradição na área. O segundo é a Inglaterra, que viu esta posição reforçada quando em 1666 um incêndio de grandes proporções (durando cerca de 4 dias) consumiu 13200 casas e 87 igrejas na cidade de Londres que, segundo Abel (1966), era uma cidade velha de madeira que os britânicos reconstruíram com tijolo.

A introdução do tijolo na América do Norte foi feita por parte dos colonos que levaram a tecnologia dos seus países. Pensa-se que terão sido os espanhóis a utilizar tijolo pela primeira vez na ilha de Hispaniola, descoberta em 1492 por Cristóvão Colombo. Depressa os colonizadores começaram a produzir tijolo em solo americano, sendo algumas das obras mais antigas em tijolo na América do Norte pertencentes a colonos holandeses e britânicos.

## 2.3 O declínio e renascimento do tijolo à vista

No final do século XVIII, o tijolo era o principal material de construção de alvenarias. Outrora material reservado às elites, o tijolo era agora um material acessível a todos os estratos sociais. Este novo estatuto provocou o desinteresse da alta sociedade, começando a procurar-se novas alternativas. Deu-se um grande desenvolvimento dos revestimentos exteriores de paredes e os edifícios marcantes começaram a ter as suas tradicionais paredes de tijolo revestidas com estuques, que apenas no início do século XIX se mostraram eficazes em termos de durabilidade. Desenvolveu-se o gosto pelas superfícies lisas e pelos trabalhos ornamentais que argamassas cada vez mais sofisticadas permitiam realizar.

Nos Estados Unidos da América, país recentemente criado, o declínio não foi sentido da mesma forma. Houve até uma necessidade de criar edifícios de referência. Pela mão de Thomas Jefferson, estadista culto, com uma área de conhecimentos muito vasta, na qual se incluía a arquitectura, foram criados edifícios com inspiração europeia, como a rotunda da Universidade de Virgínia, inspirada no Panteão de Roma. A arquitectura do tijolo à vista era nesta altura elitista, como em tempos havia sido na Europa que a inspirou.

No século XIX, com as inovações decorrentes da revolução industrial o fabrico de tijolo foi de novo impulsionado, agora mecanizado, mais barato e com maior procura devido ao aumento populacional. A descoberta do cimento portland permitiu uma maior rapidez e durabilidade nas construções de alvenaria de tijolo. Dada a capacidade de resposta permitida pela industrialização, este voltou a ser muito utilizado, não apenas em edifícios habitacionais, mas também em armazéns industrias, por ser incombustível. Em Espanha, com grande tradição de utilização de tijolo, o habitualmente revestido tijolo passava agora para tijolo à vista em algumas obras, em

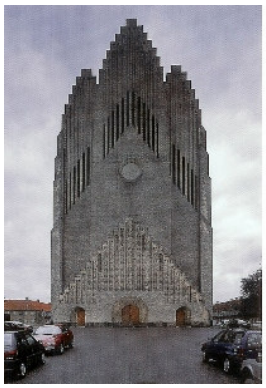
parte devido ao trabalho do excêntrico arquitecto Antoni Gaudi. Este renascimento do tijolo à vista, que acompanhou o desenvolvimento industrial, foi também notório nos Estados Unidos, onde se destacaram Frank Lloyd Wright e Henry Hobson Richardson com novas obras notáveis como a Universidade de Harvard por Richardson.

## 2.4 O século XX

Segundo Campbell, a ideia de que o surgimento do betão e do aço na construção provocou novo declínio na utilização de tijolo é falsa. Esta é uma posição discutível, pois o próprio para defender as suas afirmações destaca essencialmente edifícios do início do século como o edifício Chrysler de 1930 (figura 2.7), com 319 metros de altura, capaz de rivalizar com muitos arranha-céus de aço e vidro. A nobreza do material continua a ser notória, mas a necessidade e ambição de construir cada vez mais alto e mais rápido faz com que os edifícios de maior destaque hoje em dia sejam construídos com outros materiais. Continua no entanto a ser amplamente utilizado em muitos países ao longo deste século. Importa referir outros países com tradição na construção em tijolo à vista como a Holanda com a sua Escola de Amesterdão e a Dinamarca com obras como a Grundtvigkirke (figura 2.8).

A obra de Campbell é de facto notável por mostrar as incríveis potencialidades do tijolo à vista na construção, fruto da evolução de civilizações de todos os pontos do mundo. Pela sua extensão, não é possível colocar aqui um catálogo das mais impressionantes obras do mundo em tijolo, nem explicar, de forma mais detalhada, a evolução deste material.

**Fig. 2.7 – Edifício Chrysler (Campbell, 2005).**



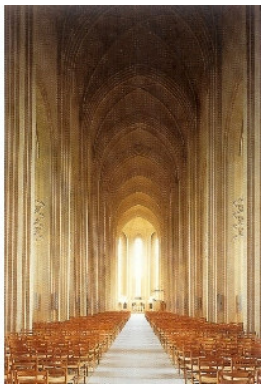


**Fig. 2.8 – Grundtvigkirke, Copenhaga, obra do arquitecto Peder Jensen-Klint, terminada em 1940 (Campbell, 2005).**

## 2.5 A evolução da alvenaria de tijolo em Portugal

Se se tentar analisar a evolução da construção de edifícios em Portugal ao longo da História, facilmente nos deparamos com questões geográficas. Tal como descrito a nível de evolução internacional, em Portugal a evolução das técnicas construtivas está ligada à disponibilidade de matérias-primas (Appleton, 2003), algo que ainda é possível verificar em algumas zonas devido a factores económicos e essencialmente culturais.

É por isso impossível falar da evolução do edificado a nível nacional de forma precisa, sendo por isso este capítulo baseado na evolução ocorrida, maioritariamente, em Lisboa, capital do país e local de vanguarda tecnológica nacional.

"Assim, o que se dirá refere-se a edifícios que, no mínimo, terão cerca de 50 anos de idade e que, com alterações relativamente pouco significativas, mantêm as características genéricas do que foi a construção de edifícios nos séculos anteriores, nomeadamente até ao século XVI, época a que correspondem, de forma e em número ainda significativo, os mais antigos dos edifícios correntes ainda existentes" (Appleton, 2003). O autor pretende dizer que a tecnologia da construção não sofreu alterações profundas até meados do século XX. Os edifícios ao longo deste período eram essencialmente de alvenaria de pedra e/ou tijolo com funções estruturais e pisos de madeira. A utilização do TFV existiu no século XX, essencialmente, em edifícios industriais, alguns dos quais ainda hoje subsistem, muitos reconvertidos para usos diversos, como estacionamentos (figura 2.9), restaurantes (figura 2.10) ou museus, como é o caso do Museu da Electricidade (figura 2.12), inicialmente uma central termoeléctrica (1919). O principal motivo da aplicação do tijolo a edifícios industriais, seria a sua resistência ao fogo e a dificuldade em utilizar alvenaria de pedra em grandes alturas, pequena espessura e sem a existência de contraventamento eficaz. A Praça de Touros do Campo Pequeno (figura 2.13), inaugurada em 1892, é outro exemplo de utilização em edifícios de destaque ou elitistas. A utilização habitacional do TFV não existia. A alvenaria de tijolo em habitações era revestida. A sua utilização era feita em conjunto com a pedra na primeira metade do século XX. Por volta dos anos 30 a 40, a alvenaria de pedra foi perdendo definitivamente relevância para o tijolo. Neste período, surgia a construção generalizada de lajes de

qualidade questionável, apoiadas em paredes resistentes de tijolo. Esta tipologia marcava também o início da implementação do betão armado.

**Fig. 2.9 – Antigo terminal rodoviário convertido em estacionamento.**

**Fig. 2.10 – Restaurantes em antigos edifícios industriais nas docas de Lisboa.**

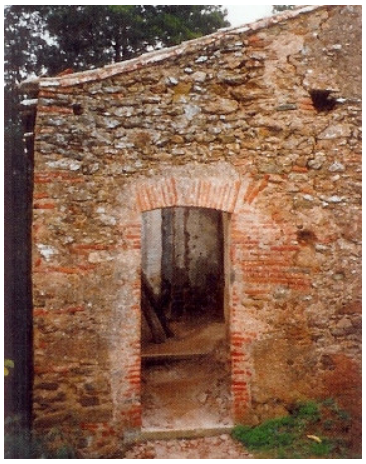


**Fig. 2.11 – Alvenarias de pedra reforçada com tijolo na zona de um vão (Appleton, 2003).**

**Fig. 2.12 – Museu da Electricidade.**

**Fig. 2.13 – Praça de Touros do Campo Pequeno.**

O tijolo era aplicado também nos tectos e pavimentos de edifícios, pois os grandes vãos, os sujeitos a cargas demasiado elevadas ou os vãos de caves ou pisos que sofriam a influência da humidade proveniente dos solos não podiam ser construídos em madeira, sendo executados por intermédio de arcos e abobadas. Estes arcos eram inicialmente feitos com pedra talhada que, segundo Gaspar Nero, passaram a ser feitos em tijolo cerâmico maciço pois era a forma mais fácil de obter peças, com forma bem definida, com resistência à compressão que permitisse a execução de arcos em grandes vãos. Estas foram as funções mais importantes que o tijolo desempenhou até à chegada do betão armado, sendo também utilizado na

execução de vãos de portas e janelas como se pode verificar na figura 2.11, onde também as ombreiras foram reforçadas, ou em elementos singulares, em que era necessário executar paredes com menor espessura, como no caso de platibandas. A implementação de forma generalizada do tijolo em Portugal como principal solução de alvenaria foi mais tardia do que em muito países Europeus.

A fraca importância do tijolo no final do século XIX e início do século XX pode ser verificada por consulta da conhecida obra de Segurado (1908), "Alvenaria, Cantaria e Betão". Na construção de alvenaria ordinária é descrita apenas a alvenaria de pedra e uma breve referência a paredes de taipa e de betão primitivo com cal como ligante. O *tejolo* é, no entanto, referido algumas vezes em conjunto com as telhas, que usadas em *cacos*, ajudam na execução destas alvenarias. Na descrição que é feita das paredes exteriores de alvenaria, há referência ao *tejolo*, mas é novamente colocada em segundo plano apenas com breves comentários. Nestas descrições é criticada a utilização de argamassa no assentamento, por ser um elemento de menor resistência. Este pode ser um motivo que desencorajou a utilização de tijolo, visto este ser sempre aplicado com argamassa. Existe depois um capitulo intitulado "Paredes e muros de tejolo" onde são explicadas as técnicas de aplicação e sistemas de execução, mas onde estas raramente são designadas por alvenarias. São descritos vários modelos de aplicação, mas nunca com um relacionamento directo com a sua aplicação real como fora feito com a alvenaria de pedra. Algumas afirmações ilustram que o tijolo nunca era utilizado como único material de construção de alvenaria e poucas vezes era utilizado nas principais paredes estruturais: "Paredes de maior espessura de *tejolo* são pouco vulgares entre nós e por isso nos abstemos de apresentar mais exemplos.", "entre nós não se emprega de ordinário o *tejolo* para paredes muito grossas; neste caso faz-se alvenaria *mixta*: exteriormente *tejolo* envolvendo alvenaria ordinária". Existem outras informações que demonstram a maior importância da pedra: "a pedra é um dos materiais que mais largo uso encontra na construção civil (...)", "além da pedra propriamente dita temos de considerar o emprego da taipa ou terra amassada, dos adôbos e das pedras artificiais, de que o *tejolo* e o betão são os principais tipos", "(...) pilares de *tejolo*, (...) são *quási* sempre rebocados e estucados para imitar cantaria". Existe nesta obra uma breve referência ao TFV: "no assentamento do *tejolo* devemos considerar dois casos: ou o *tejolo* fica à vista ou não. No primeiro caso tem que ser cuidadosamente escolhido, pondo-se de lado todos os *tejolos* fendidos, partidos, mal

cozidos, queimados, os que tenham dimensões maiores ou menores que as normais, etc. (…) Se a parede é para rebocar, todo o *tejolo* serve e nem mesmo é preciso regularizar as juntas pois a sua aspereza facilita aderência do reboco.", onde é especialmente reforçado maior controlo de qualidade necessário na aplicação deste, algo que vai sendo referido relativamente aos dois tipos de tijolo.

Segundo Gaspar Nero, o tijolo afirma-se timidamente até ao uso generalizado do betão armado, que vem retirar relevância às paredes interiores na função estrutural, passando estas a ser panos de enchimento de tijolo furado. Até às estruturas inteiramente dimensionadas em betão armado, as paredes exteriores de alvenaria de pedra e/ou tijolo suportam a maioria dos esforços que a estrutura transmite piso a piso até ao solo. Com as referidas estruturas, inteiramente dimensionadas com betão armado, o tijolo passa a ser o material mais utilizado para a execução de alvenarias, quase sempre furado e consequentemente sem funções estruturais e rebocado. Tal como o legado de obras existentes actualmente demonstra, o TFV nunca se chegou a afirmar em Portugal, abrindo a possibilidade à pouca utilização actual ter origens a questões culturais.

Se se recuar um pouco mais, pode-se identificar aquele que foi, provavelmente, o primeiro grande entrave à proliferação do tradicional tijolo maciço (que era também utilizado à vista), o grande sismo de 1755. Este foi sem dúvida um importante marco na evolução da tecnologia da construção, mas também nas mentalidades em Portugal. Após o grande sismo, existiu a necessidade de reconstruir rapidamente a cidade. Perante o cenário de destruição, a opção foi efectuar a limpeza dos destroços em simultâneo com a construção de novos edifícios, sendo aproveitados os destroços das anteriores construções, essencialmente a pedra, talvez o único material que continuava apto para uma utilização eficaz. Nasceu assim uma nova cidade, novamente em alvenaria de pedra. O receio de um novo sismo de dimensões catastróficas motivou um maior rigor construtivo e novas preocupações, como a ductilidade das estruturas. A gaiola pombalina passou a ser embutida, pelo interior, nas paredes de alvenaria de forma a responder a este requisito. A pedra, devido à sua irregularidade e aplicação com elevadas espessuras, permitia este tipo de procedimentos de forma mais fácil que o tijolo, habitualmente aplicado de forma alinhada e bem definida. A figura 2.12 ilustra a evolução da alvenaria em Portugal, onde é visível que a partir da chegada do TF, o tijolo maciço / TFV, deixou de ser utilizado.

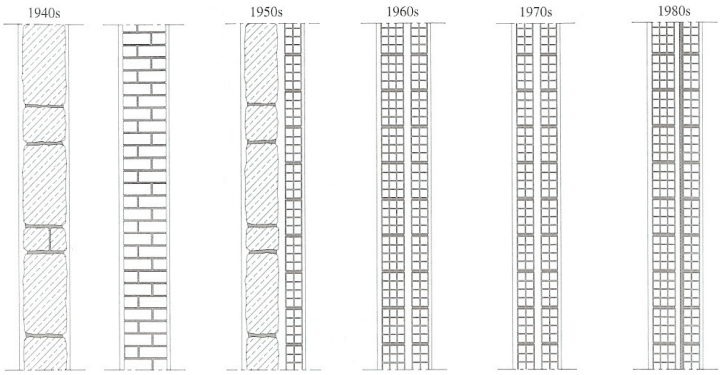



**Fig. 2.14 – Síntese da evolução da alvenaria em Portugal (Sousa, 1995).**

# 3 Panorama actual do TFV

## 3.1 Panorama mundial

Os sistemas de execução de alvenaria, em especial na Europa e E. U. A., mas também um pouco por todo o mundo, são uma tarefa com uma especificidade muito superior à que se verifica em Portugal (Santos, 2006).

A alvenaria de TFV é um dos poucos casos de alvenaria executada em Portugal que requer esse tipo de rigor de execução. No caso do TF, não é determinante o rigor construtivo para a qualidade do aspecto final das fachadas, visto que todas as imperfeições que existirem serão passíveis de ocultação pela argamassa de revestimento.

A execução de alvenaria seguiu evoluções distintas em muitos países (Piers, 1993) como se pode ver nas figuras 3.1 e 3.2. Foram questionados sobre os motivos da utilização de TFV, nos seu países, especialistas em tijolo dos E. U. A., Reino Unido e Espanha, pertencentes ao National Brick Research Center na Clemson University, ao Ceram Building Technology e à Hispalyt, respectivamente. Foram analisados outros países com base em referências bibliográficas. Foram por fim apresentadas impressões de especialistas nacionais ou profissionais do ramo do Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (CTCV) e da Cerâmica Vale da Gândara (CVG), respectivamente.

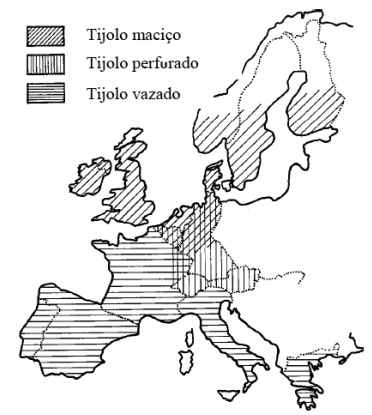



**Fig. 3.1 – Mapa de utilização de tipos de tijolo na Europa (Lourenço, 1999).**

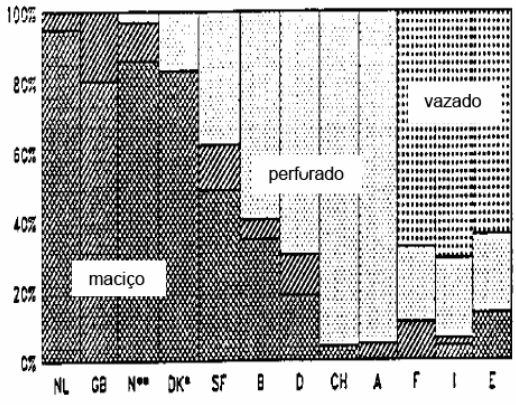



**Fig. 3.2 – Gráfico de percentagens de utilização de tipos de tijolo em alguns países da Europa (Lourenço, 1999).**

### 3.1.1 E. U. A.

Os países que tinham por tradição utilizar o TFV até ao final do século XX, continuam a utilizá-lo. Segundo Jim Fredric, Associate Director do National Brick Research Center na Clemson University nos E. U. A., o TVF é um material que continua a ser muito utilizado e competitivo, no seu país, por existir muita e boa matéria-prima e mão-de-obra de qualidade para a sua aplicação. Segundo Fredric, o TFV é um material bastante decorativo e permite utilizações variadas, proporcionando a criação de fachadas únicas que nenhum outro material pode igualar. O tijolo é utilizado tanto com funções estruturais como de enchimento. Existe um leque mais variado de tipos de tijolo do que em Portugal, entre os quais se pode destacar o TFV de grandes dimensões (16"x8"), com furação vertical, também esta de grande dimensão, que é aplicado em pano simples.

Para além dos motivos referidos, o TFV tem a seu favor o facto de ser um material que favorece uma construção sustentável. Utiliza materiais naturais, tem uma grande longevidade, não origina qualquer tipo de resíduos agressivos para o ambiente, tem baixos custos de manutenção e é um bom isolante, quer térmica, quer acusticamente. Fredric acrescenta ainda que nos E. U. A. os edifícios têm seguros mais económicos quando são construídos em TFV, pois são mais resistentes ao fogo, ao vento e aos sismos.

### 3.1.2 Reino Unido

No Reino Unido, o panorama é semelhante ao Norte-americano, havendo em alguns casos colaboração entre entidades relacionadas com a indústria cerâmica e o seu desenvolvimento e investigação. Andrew Smith, Materials Group Manager do CERAM Building Technology, no Reino Unido, considera a utilização do TFV em Inglaterra e a não utilização em Portugal se devem a razões históricas:

- nos últimos anos, utiliza-se, cada vez mais, a produção de tijolos por moldagem em detrimento da extrusão, o que faz com que cada vez menos se produzam unidades de baixa densidade como o TF utilizado em Portugal;

- o TFV é um material cujo efeito estético é muito aceite, em particular nos edifícios de habitação;

- o tijolo, ao contrário do que acontece nos países do Sul da Europa, tem tido uma utilização estrutural, sendo assim utilizado mais tijolo maciço ou de furação vertical, com maior resistência do que o TF;

- a partir de 1930, começou a utilizar-se o sistema de parede dupla (*cavity wall*), onde inicialmente ambos os panos de alvenaria eram de tijolo, sendo a partir dos anos 70 utilizados blocos de betão para a construção dos panos interiores; estes blocos de betão são amplamente produzidos no Reino Unido, são baratos e permitem cumprir facilmente as exigências estruturais do UK Building Control Officers.

### 3.1.3 Espanha

A realidade espanhola é importante pelo facto de as características geográficas serem próximas de Portugal. Segundo Rafael García da Hispalyt, a utilização de TFV em Espanha faz-se predominantemente em vivendas. A sua utilização é de enchimento e não estrutural, pois as estruturas são maioritariamente porticadas em betão armado. Segundo García, o TFV e o TF são soluções de fachada muito distintas, mas ambas têm as suas vantagens e inconvenientes, pelo que ambas são utilizadas em Espanha. Destaca como principais vantagens a estética, a durabilidade e a poupança económica que deriva da aplicação do TFV. Quando questionado sobre percentagens de utilização em Espanha, García apenas disse que o TFV é utilizado por toda a Espanha.

### 3.1.4 Outros países da Europa

Outros países como a Bélgica, os Países Baixos, a França, a Itália e a Alemanha fazem um uso comum do TFV. No caso Alemão, são utilizados os chamados "clinkers", TFV fabricado a temperaturas mais altas de forma a atingirem um estado mais próximo da vitrificação da superfície, sendo mais resistentes aos agentes agressores e à infiltração de água (Jäger e Schöps, 2006). Em França e na Alemanha,

verifica-se uma utilização de TFV localizada, sendo mais frequente em França no Norte do país e nos arredores de Paris e na Alemanha também no Norte do país, em ambos os casos mais em pequenos edifícios de habitação (Delmotte e Merlet, 2006; Jäger e Schöps, 2006). Itália apresenta uma grande tradição na utilização de TFV e continua a ser um material utilizado para panos exteriores de alvenaria (Capozucca, 2006). Na Bélgica e nos Países Baixos, o tijolo cerâmico é o material mais utilizado para panos exteriores de alvenaria, como é mostrado na figura 3.3 e em maior detalhe no quadro 3.1.

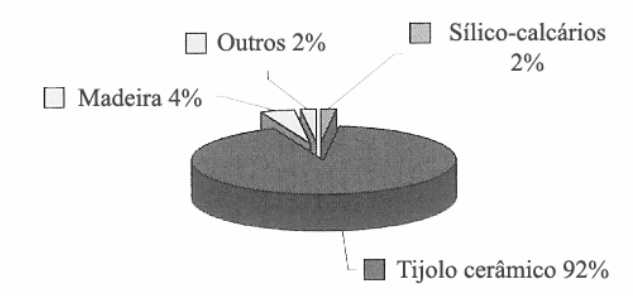



**Fig. 3.3 – Materiais usados em panos exteriores de alvenaria nos Países Baixos (Martens, 2006).**

**Quadro 3.1 – Materiais usados em panos exteriores de alvenaria na Bélgica e Países Baixos por ordem descendente de importância (Martens, 2006).**

| **Bélgica** | **Países Baixos** |
|---|---|
| Tijolo cerâmico | Tijolo Cerâmico |
| Tijolos e blocos de betão | Tijolos de betão |
| Tijolos sílico calcários | Tijolos sílico-calcários |
| Blocos de pedra natural (Sul da Bélgica) | |

Martens (2006) não especifica se se trata apenas de TFV, mas assumir-se que uma percentagem significativa do designado "clay brick" é efectivamente de TFV.

### 3.1.5 Brasil e Índia

Os E. U. A. e a Europa apresentam maiores desenvolvimento e maior rigor na execução de alvenarias do que os restantes países do mundo.

O Brasil e a Índia são países de grande dimensão e apresentam uma grande diversidade na qualidade e tipo de alvenaria executada, bem como na produção de materiais, reflectindo a sua realidade económico-social, com a existência de uma grande heterogeneidade.

No Brasil, não se utiliza o TFV, não obstante ser um dos maiores produtores mundiais de revestimentos cerâmicos. O TFV é uma solução construtiva que requer qualidade dos produtos e dos executantes e no Brasil existe falta de regulamentação na construção, algo que conduz a uma frequente má qualidade de execução (Roman e Silva, 2006).

Na Índia, existe uma grande diversidade de tipos de alvenaria e uma grande variedade na qualidade de execução. A Índia é um país com uma extensa área e com condições climáticas muito variadas e por vezes extremas que requerem um tipo de construção específico. O tijolo cerâmico tem uma grande tradição no país, desde a sua origem. Actualmente, o TFV é utilizado (tal como paredes de "lama" ou alvenaria de pedra), mas não com o rigor que existe na Europa. Não pode ser utilizado como referência para Portugal, devido às condições existentes, quer sociais, quer climáticas. A Índia utiliza o TFV como tijolo estrutural, algo que não acontece frequentemente em aplicações com o nível de qualidade de acabamento visto na Europa ou E. U. A. (Roy, 2006).

### 3.1.6 China

A China é um país com mentalidade e cultura muito próprias. A alvenaria de tijolo, de face à vista ou não, tem alguma relevância no património construído na China. Várias pesquisas têm sido desenvolvidas a nível de alvenaria estrutural e alternativas ao tijolo cerâmico. Ao contrário de muitos países europeus, o tijolo cerâmico tem vindo a perder relevância em nome de um desenvolvimento mais sustentável. A destruição da topografia, necessidade de meios de transporte pesados e o grande consumo de energia são apontados como desvantagens deste material (Gu, Li e Peng, 2006). São considerados na China materiais alternativos o xisto, e resíduos das centrais de produção de energia com carvão mineral (*gangue* e *fly-ash*), sendo os

segundos produtos com propriedades mecânicas inferiores às do tijolo cerâmico como é possível verificar nos quadros 3.2 e 3.3.

**Quadro 3.2 – Resultados de alguns testes comuns a tijolos com diferentes percentagens de cinza de carvão (adaptado de Fatih, 2001).**

| Cinza de carvão [%] | Retracção a seco [%] | Temperatura de cozedura [ºC] | Retracção por cozedura [%] | Absorção de água [%] | Peso por unidade volume [kg/cm$^3$] | Perda por cozedura [%] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1,30 | 750 | 0,33 | 15,53 | 1793 | 8,21 |
| 0 | | 850 | 0,35 | 15,41 | 1827 | 9,90 |
| 0 | | 950 | 0,40 | 15,33 | 1867 | 12,07 |
| 40 | 1,32 | 750 | 0,27 | 20,63 | 1443 | 5,82 |
| 40 | | 850 | 0,29 | 19,49 | 1463 | 6,63 |
| 40 | | 950 | 0,47 | 20,06 | 1491 | 7,77 |
| 50 | 0,93 | 750 | 0,28 | 21,49 | 1374 | 5,30 |
| 50 | | 850 | 0,55 | 20,28 | 1375 | 5,47 |
| 50 | | 950 | 0,56 | 20,47 | 1379 | 6,05 |
| 60 | 1,01 | 750 | 0,29 | 21,33 | 1312 | 5,20 |
| 60 | | 850 | 0,66 | 21,63 | 1355 | 5,25 |
| 60 | | 950 | 0,68 | 21,52 | 1372 | 5,93 |

**Quadro 3.3 – Resistência à compressão de tijolos após ensaios de resistência ao congelamento e acção cal-magnésio (Fatih, 2001).**

| Temperatura de cozedura [ºC] | Cinza [%] | Força de Compressão [kg/cm$^2$] | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Tijolos originais | Após teste de congelamento | Após teste prejudicial de cal-magnésio |
| 750 | 0 | 205,52 | 192,23 | 189,73 |
| | 40 | 94,57 | 86,31 | 83,07 |
| | 50 | 69,40 | 62,38 | 60,03 |
| | 60 | 60,43 | - | - |
| 850 | 0 | 264,12 | 263,12 | 252,62 |
| | 40 | 117,83 | 110,61 | 107,31 |
| | 50 | 84,93 | 75,61 | 70,70 |
| | 60 | 61,58 | - | - |
| 950 | 0 | 452,47 | 334,36 | 364,56 |
| | 40 | 163,68 | 154,42 | 148,56 |
| | 50 | 109,13 | 108,1 | 100,6 |
| | 60 | 102,35 | 82,48 | 70,70 |

Todos estes materiais são passíveis de utilização para produção de TFV, visualmente semelhantes aos que são utilizados em Portugal e resto da Europa (Gu, Li e Peng, 2006).

## 3.2 O caso Português

Portugal não apresenta tradições na utilização de TFV. Em simultâneo com algum conservadorismo existente, que torna difícil a aceitação de novos materiais de construção, o material mais popular para a construção de alvenaria é o TF que representa cerca de 90% da aplicação actual em Portugal em novas construções (Carvalho e Sousa 2006). Da análise da figura 3.4, baseada em dados recolhidos no inquérito realizado pelo INE, Censos 2001, verifica-se que no final do século XX o reboco tradicional ou marmorite representavam 59% dos revestimentos dos edifícios construídos em Portugal de 1991 a 2001. O TFV faz parte de um grupo de outros materiais que totaliza apenas 1% de utilização. Uma análise dos dados de todo o século XX mostra que estes dados não sofreram alterações significativas, reforçando a ideia de conservadorismo existente a nível de inovação na tecnologia da construção em Portugal.

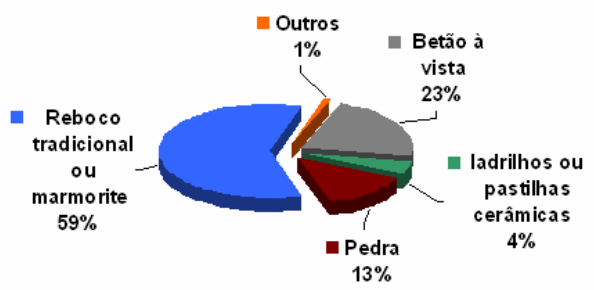



**Fig. 3.4 – Materiais de revestimento de edifícios construídos de 1991 a 2001 (INE).**

Segundo Luís Camarneiro, director comercial da cerâmica de Vale da Gândara (CVG), líder nacional na produção de TFV há mais de 6 anos, houve no final do século XX um impulso à utilização deste material por parte de duas cerâmicas Espanholas, a MAS e a Fojo, que tentaram introduzir o TFV em Portugal, essencialmente no Norte do país. Estas empresas viriam a desaparecer, a primeira por falência em 2001, a segunda por se ter tornado obsoleta e necessitar de novas

instalações, acabando por fechar a sua fábrica de Vila Nova de Gaia em 2002. Alguns anos antes, em 1994, tinha surgido a CVG com uma aposta forte no TFV, especializando-se na área e tentando desde o início alertar para as potencialidades deste material e promover um aperfeiçoamento na aplicação do mesmo. Este esforço tem sido materializado através da redacção de documentos técnicos e informativos que podem ser parcialmente consultados no *site* oficial da CVG [W2].

Segundo a APICER, existe registo de cinco indústrias produtoras de TFV em 2005 (Cerâmica do Vale da Gândara, Cerâmica do Boialvo, Cerâmica Sotelha, Certomar - Cerâmicas, Greslar - Artigos de Cerâmica). Segundo a mesma fonte, a produção anual de tijolo cerâmico em Portugal ascende a cerca de quatro milhões de toneladas, enquanto que em Espanha em 2003 se produziram três milhões setecentas e cinquenta e sete mil toneladas, em França em 2002 produziram-se menos de quinhentas mil toneladas e em Itália em 2005 foi produzido cerca de um milhão de toneladas de tijolo. Portugal é um dos maiores produtores Europeus de tijolo cerâmico, mas apenas 2% da sua produção é de TFV, valor representativo da pouca expressão deste material no mercado.

## 3.3 Legislação aplicável

A normalização relativa à construção de edifícios na Europa encontra-se numa fase de transição. O esforço levado a cabo ao longo de várias décadas começa agora a dar frutos e cabe aos estados membros da União Europeia dar continuidade ao trabalho desenvolvido até aqui na criação dos Eurocódigos. No caso especifico da alvenaria, Portugal tinha há bem pouco tempo legislação muito limitada e tem vindo recentemente a actualizar-se relativamente a normas Europeias.

### 3.3.1 Problemática da Normalização Europeia

Obter uma estandardização das normas Europeias do tijolo é uma ambição com várias décadas, tendo enfrentado diversas dificuldades. A primeira que se apresenta são as nove línguas oficiais da Europa e os termos técnicos aplicados que,

muitas vezes, não podem ser traduzidos de forma imediata. É necessário homogenizar terminologias, métodos, materiais e critérios exigenciais (Peirs, 1993). As dificuldades linguísticas são facilmente identificáveis com a leitura de documentação técnica. A designação em língua inglesa "clay brick" nos países do Norte da Europa é em Portugal equivalente ao tijolo maciço, tijolo de face à vista ou, utilizando um termo mais popular e menos técnico, *tijolo burro*. A tradução directa de "clay brick" é tijolo de barro, ou tijolo cerâmico, que corresponde em Portugal e em outros países do Sul da Europa a TF. Na Alemanha, existem os "clinkers", em Inglaterra os "engineering bricks", tudo elementos de alvenaria de tijolo que não têm de ter necessariamente uma tradução fiel nas restantes oito línguas oficiais da União Europeia, por não existir necessariamente um produto idêntico em cada um dos países membros. Este problema de semântica conduz ao da diversidade de materiais que os vários países utilizam, alguns exclusivos. Diferentes formatos de tijolos devem ter diferentes exigências funcionais e diferentes métodos de execução. Na Alemanha, é considerado "solid brick" um tijolo com menos de 15% de furação. Na Bélgica, os valores são de 20% e na Inglaterra de 25% (Piers, 1993)

Como Piers (1993) refere, não é discutível que devam existir normas de qualidade e higiene nos produtos alimentares para todos os países da Europa, questionando de seguida se é igualmente indiscutível a imposição de receitas gastronómicas europeias a todos os seus países. A resposta à segunda pergunta é naturalmente negativa. A questão levantada por Piers é muito pertinente, pois alerta para o facto da normalização europeia necessitar de metas específicas e não ambicionar regulamentação igual para toda a Europa. As questões regionais não podem ser ignoradas, pois elas existem até dentro dos próprios países.

O mesmo autor defende que o primeiro passo será uniformizar os ensaios utilizados nos elementos de alvenaria e só depois regulamentar exigências com base num já uniforme plano de ensaios.

A existência de legislação mais uniforme a nível de engenharia e construção permite uma maior abertura neste sector de mercado e um facilitado intercâmbio de profissionais da área nos vários países da União Europeia.

### 3.3.2 Eurocódigo 6

A regulamentação europeia está perto de ser realidade. Segundo Lourenço (2006), em 2010 as normas nacionais dos países membros da CE serão revogadas e passarão a vigorar os Eurocódigos. Desde 2006 que os eurocódigos se encontram num período de coexistência com os regulamentos nacionais. Foi este o processo delineado nos anos 70 para o desenvolvimento dos eurocódigos, tendo em 1984 surgido os primeiros eurocódigos. Nos anos 90, a publicação dos eurocódigos, sob a forma de ENV, passou a ser responsabilidade do CEN (European Committee for Standardization). A passagem das ENV para EN (European Norms) iniciou-se em 1998.

Em Portugal, não existe legislação específica relativa a estruturas de alvenaria, pelo que neste caso não se trata de uma homogeneização, mas sim de regulamentação cujos conceitos tratados são muitas vezes novos. O Eurocódigo 6 trata das exigências relativas à resistência, utilização e durabilidade das estruturas. Este documento divide-se em quatro partes:

- NP ENV 1996-1-1:2000 (Ed. 1) - Eurocódigo 6: Projecto de estruturas de alvenaria. Parte 1-1: Regras gerais para edifícios. Regras para alvenaria armada e não armada [R1];
- NP ENV 1996-1-2:2000 (Ed. 1) - Eurocódigo 6: Projecto de estruturas de alvenaria. Parte 1-2: Regras gerais. Verificação da resistência ao fogo [R2];
- NP ENV 1996-1-3:2000 - Eurocódigo 6: Concepção de estruturas de alvenaria. Parte 1-3: Regras gerais para edifícios. Regras detalhadas sobre cargas laterais [R3];
- NP ENV 1996-2:2000 - Eurocódigo 6: Concepção de estruturas de alvenaria. Parte 2: Concepção, selecção de materiais e execução de obras de alvenaria [R4].

Os eurocódigos, para além de homogenizar o sector da construção, permitem a alguns países evoluir tecnicamente na construção, algo que no caso das alvenarias é benéfico para Portugal por ser um país menos evoluído relativamente a outros parceiros europeus.

### 3.3.3 Regulamentação Nacional

A legislação relativa a elementos cerâmicos de alvenaria foi modificada em 2006 com a saída da norma NP EN 771-1:2006 [R5]. A norma europeia EN 771-1:2003 que lhe deu origem veio substituir as normas nacionais NP 80 [R6] e NP 834 [R7] que já vigoravam desde 1964 e 1971, respectivamente.

A NP EN 771-1:2006 está intitulada "Especificações para unidades de alvenaria. Parte 1: Tijolos cerâmicos para alvenaria" e contempla as características e os requisitos funcionais para unidades cerâmicas destinadas à construção de alvenarias, à vista e rebocada, estruturas de alvenaria resistente ou não resistente, incluindo as divisórias interiores e tabiques, para construção e engenharia civil. Esta norma deve ser complementada por um conjunto de outras normas que definem os métodos de ensaio para avaliar cada parâmetro [normas R8 a R21]:

As outras partes da norma 771 cuja listagem se apresenta, ainda existem apenas como norma europeia, com a excepção da NP EN 771-6:2007 [R22]:

- EN 771-2 - Especificações para elementos de alvenaria. Parte 2: Blocos sílico-calcários [R23];
- EN 771-3 - Especificações para blocos de alvenaria. Parte 3: Blocos de betão de agregados (densos e leves) [R24];
- EN 771-4:2003 (Ed. 2) - Especificações para elementos de alvenaria. Parte 4: Blocos de betão celular autoclavados [R25];
- EN 771-5:2003 (Ed. 1) - Especificações para elementos de alvenaria. Parte 5: Blocos de pedra para alvenaria [R26];
- NP EN 771-6:2007 (Ed. 1) - Especificações para unidades de alvenaria. Parte 6: Unidades de alvenaria em pedra natural [R22];

Tratam-se de normas importantes para a execução de fachadas de edifícios em alvenaria de TFV pois este material pode ser conjugado com qualquer outro elemento de alvenaria em pano interior.

## 3.4 Principais factores que condicionam a aplicação do TFV em Portugal

Factores de ordem histórica têm um peso relevante. As técnicas de execução de TFV nunca foram muito aperfeiçoadas em Portugal e, portanto, não acompanharam a evolução tecnológica de outros países.

Segundo Luís Camarneiro, existe uma conotação de material excessivamente dispendioso associada ao TFV, noção reforçada por Baio Dias, que aponta este como principal entrave à proliferação do TVF em Portugal. Luís Camarneiro defende que, a verificar-se, trata-se apenas de investimento inicial, sendo depois recuperado pela quase ausência de manutenção necessária e elevada durabilidade a longo prazo.

O rigor necessário na execução das fachadas de TFV, associado à falta de mão-de-obra qualificada e de projecto de alvenarias, são também são factores apontados pelo director técnico da cerâmica de Vale da Gândara, que fazem com que muitas vezes não seja aplicado correctamente e também lhe seja associada a conotação de material de alvenaria mais susceptível de originar anomalias em edifícios.

"Os trabalhos de alvenaria, incluindo os respectivos revestimentos, correspondem a cerca de 15% do valor total da construção de edifícios. No entanto, as paredes de alvenaria têm, habitualmente, desempenhos incompatíveis com a sua importância funcional e económica (cerca de 25% do total das anomalias em edifícios), por insuficiências ao nível da concepção e da execução, bem como ao nível da selecção dos materiais". "A qualidade dos produtos disponíveis é, em geral, mediana ou reduzida apesar da modernização recente da indústria e da obrigatoriedade de certificação do produto". "A argamassa de assentamento é, habitualmente, preparada no local à base de cimento e areia (uma prática errónea e única no panorama internacional)". "A abundância de métodos e materiais novos parece misturar-se com as soluções tradicionais viciadas, devido à habitual inércia do sector de construção" (Lourenço, 2005). O autor refere-se a alvenarias em território nacional, que são na sua esmagadora maioria de execução menos exigente e cuidada do que alvenaria de TFV, reforçando as ideias já apresentadas. Acrescenta ainda um factor já referido, a inércia ou conservadorismo existentes no sector da construção em Portugal.

## 3.5 Principais obras recentes de TFV em Portugal

Foram apresentadas, no capítulo 2, obras em Portugal com várias décadas, obras cuja génese está inevitavelmente ligada à capacidade técnica da sua época construtiva. Não interessa, por isso, referir mais do que a sua durabilidade, mesmo com todas as limitações existentes no momento da sua construção.

Interessa falar de obras recentes de TFV, que dêem uma ideia do campo de aplicação em território nacional na actualidade, das possibilidades e perspectivas de utilização futura deste material. O TFV em Portugal é utilizado quer como único tipo de fachada exterior nos edifícios, quer como parte integrante de soluções mistas de fachadas de TFV e outras soluções. São referidas obras dos dois tipos.

São aqui apresentados os vencedores das duas primeiras edições do prémio bienal de arquitectura em tijolo face à vista, iniciativa promovida pela Cerâmica de Vale da Gândara com o intuito de estimular a concepção de novas obras em TFV. De referir que este prémio contemplou, na sua primeira edição, obras realizadas entre 1 de Julho de 2001 e 30 de Junho de 2003, com 72 edifícios candidatos e, na sua segunda edição, obras realizadas de 1 de Julho de 2003 a 30 de Junho de 2005, com 95 obras candidatas. Segundo o regulamento do concurso, de entre os critérios de avaliação dos candidatos, destacam-se a originalidade e criatividade das propostas, as soluções técnicas e construtivas utilizadas, a qualidade da construção e o enquadramento da obra na envolvente urbana e/ou paisagística [W1].

O Hotel Vila Galé Ópera (figuras 3.5 e 3.6), em Alcântara, Lisboa, da autoria do arquitecto Manuel Salgado, foi o vencedor do primeiro prémio do primeiro concurso. Trata-se de um hotel de 4 estrelas, com 246 quartos e 13 suites, inseridos num edifício de 7 pisos. O edifício está implantado numa área de reconversão urbanística, integrada num Núcleo Urbano de Interesse Histórico. O edifício é constituído por duas lâminas desfasadas entre si e paralelas à ponte 25 de Abril, dando-lhe o tijolo de barro vermelho à vista um bom enquadramento estético com a ponte [W1].

O conjunto habitacional (PER) na Rua da Seara, em Matosinhos, da autoria do arquitecto João Álvaro Rocha, foi o vencedor do primeiro prémio do segundo concurso. Trata-se de um conjunto de edifícios numa zona mais periférica da cidade num local que é referido na memória descritiva como de "transição, onde a tensão

entre espaços verdes e espaços construídos, entre topografia e volumetria edificada, entre o público e o privado, assume singular importância" (Prémio, 2006). Os edifícios são em 95% das suas fachadas revestidos com TFV, como evidenciam as figuras 3.7 e 3.8.

**Fig. 3.5 – Vista de uma das fachadas de TFV do Hotel Vila Galé Ópera.**

**Fig. 3.6 – Vista perpendicular às duas "lâminas" do Hotel Vila Galé Ópera.**

**Fig. 3.7 – Conjunto habitacional (PER) na Rua da Seara (Prémio, 2006).**

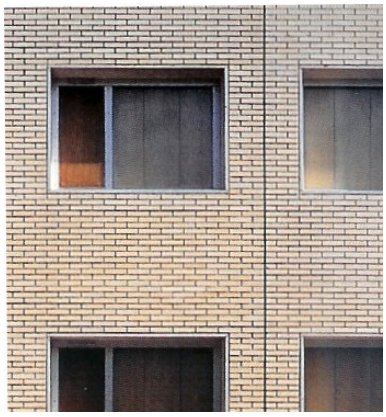


**Fig. 3.8 – Detalhe de fachada de TFV com junta de dilatação no conjunto habitacional (PER) na Rua da Seara (Prémio, 2006).**

Recomenda-se a consulta das brochuras cridas pela CVG com os 167 edifícios candidatos nestas duas primeiras edições para conhecer todo o campo de aplicação do TFV em Portugal na actualidade. Existem também edifícios unifamiliares e edifícios públicos para além dos tipos de edifícios aqui apresentados. Encontra-se já a decorrer uma terceira edição Prémio de Arquitectura de tijolo de face à vista.

# 4 TFV enquanto material de construção

## 4.1 Características gerais do material

O TFV é um elemento de alvenaria que se destina a ficar visível após aplicado em pelo menos uma das faces. Existe sob a forma de tijolo cerâmico e blocos silico-calcários. Apenas os primeiros são utilizados em Portugal na actualidade, pelo que serão os únicos focados de forma detalhada. O TFV pode ser estrutural ou de enchimento. A alvenaria estrutural tem pouca expressão em Portugal. Não obstante, desenvolvimentos relativos a este tema serão focados no capítulo 6. As dimensões mais comuns são da ordem dos 220 x 107 x 70 mm [R2]. A título de exemplo, são apresentados, na figura 4.1, exemplos de TFV produzidos pela CVG. As especificações mais relevantes de alguns dos referidos TFV constam do quadro 4.1. A figura 4.2 apresenta TFV com diferentes configurações.

**Fig. 4.1 – Alguns dos TFV comercializados pela CVG.**

**Fig. 4.2 – TFV com diferentes dimensões e estruturas.**

Actualmente não existem valores mínimos ou máximos exigidos por lei para grande parte das especificações técnicas do tijolo cerâmico, pelo que cada empresa produtora deve estabelecer especificações que devem ser comprovadas através de um plano de ensaios adequado, segundo as exigências normativas em vigor (Dias e Ferreira, 2007). O quadro 4.2 apresenta algumas exigências normativas da legislação anterior (mais detalhes relativos a este assunto serão discutidos no sucapítulo seguinte), que permitem um enquadramento relativo a alguns parâmetros importantes no TFV, bem como as classificações anteriores que ainda são familiares para muitos.

**Quadro 4.1 – Ficha técnica de alguns dos TFV produzidos pela CVG (adaptado de Catálogo, 2007).**

| **Tijolo face à vista – 7 cm - grés natural** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Parâmetro** | Grandeza | **Vulcânico** | **Pérola** | **Arena** |
| **Desvio máximo em relação às dimensões declaradas (230 x 110 x 70 mm)** | Comprimento (mm) | +/- 3 | +/- 3 | +/- 3 |
| | Largura (mm) | +/- 3 | +/- 2 | +/- 2 |
| | Altura (mm) | +/- 2 | +/- 2 | +/- 2 |
| **Amplitude** | Comprimento (mm) | 3 | 2 | 2 |
| | Largura (mm) | 2 | 1 | 1 |
| | Altura (mm) | 2 | 1 | 1 |
| **Deformação máxima das faces** | mm | 2 | 1 | 1 |
| **Sonoridade** | | Boa | Boa | Boa |
| **Absorção de água** | % | 3,1 | 4,8 | 4,5 |
| **Taxa de absorção inicial de água** | kg/($m^2$ xmin) | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| **Massa volúmica real seca** | kg/$m^3$ | 2262 | 2140 | 2170 |
| **Eclusões calcárias** | | Não tem | Não tem | Não tem |
| **Eflorescências** | Altura máxima ($cm^2$) | 0 | 0 | 0 |
| **Resistência à compressão** | Mínimo (kgf/$cm^2$) | 226 | 190 | 222 |
| | Média (kgf/$cm^2$) | 297 | 235 | 261 |

**Quadro 4.2 – Critérios de aceitação com base na revogada NP 80 (adaptado de Manual, 2006).**

| **Características** | **Critério de aceitação** | |
|---|---|---|
| **Aparência** | Ausência de nódulos de cal viva; laminações; fendas largas; esfoliações | |
| **Toque** | Sonoro | |
| **Marca do fabricante** | Deve estar visível | |
| **Resistência mecânica** | Classe | Tijolos maciços ou perfurados |
| | C | ≥ 70 kgf/$cm^2$ |
| | B | ≥ 100 kgf/$cm^2$ |
| | A | ≥ 140 kgf/$cm^2$ |
| **Eflorescências** | Área coberta de sais inferior a 5 $cm^2$ | |
| **Sais solúveis** | Inferior a 0,5% da massa do provete | |
| **Durável sob severas exposições** | Absorção de água em ebulição inferior a 7%<br>Coeficiente de saturação inferior a 0,6<br>Resistência mecânica superior a 490 kgf/$cm^2$<br>Absorção de água em ebulição + 100 x coeficiente saturação < 72 | |
| **Durável sob exposições moderadas** | Valor de absorção de água fervente + 100 x coeficiente de saturação compreendido entre 72 e 93 | |

## 4.2 Exigências normativas para a marcação CE

O presente subcapítulo trata das exigências técnicas de TFV português, exigidas pela NP EN 771-1 de 2006, e que proporcionam a obtenção da marcação CE de acordo com a Directiva dos Produtos de Construção (DPC) 89/106/CEE. Os TFV com furação vertical da CVG serão utilizados como referência e considerados representativos da produção em Portugal.

O TFV está definido como tijolo cujo destino é ficar visível, no interior ou no exterior das construções e enquadra-se na classificação de "unidades HD". Unidades HD ("Hight Density") são unidades que se enquadram em pelo menos uma das seguintes definições:

- todas as unidades cerâmicas para utilização em alvenaria não protegida;
- unidades cerâmicas para alvenaria com massa volúmica seca bruta maior do que 1000 kg/m$^3$ para utilização em alvenaria protegida.

Acresce a esta classificação a de "Categoria I" e "Categoria II" que indica se as unidades de alvenaria têm valores de resistência à compressão declarada com probabilidade de falha menor ou igual do que 5%. O quadro 4.3 resume as classificações enunciadas.

**Quadro 4.3 – Classificação de tijolo cerâmico (Dias e Ferreira, 2007).**

| | | | **Categoria I** | **Categoria II** |
|---|---|---|---|---|
| **Tijolos cerâmicos** | **HD** | Massa volúmica bruta seca > 1000 kg/m$^3$ | Unidades LD ou HD com resistência à compressão declarada com probabilidade de falha menor ou igual que 5% | Unidade LD ou HD onde não se verifica o nível de confiança dos blocos de Categoria I |
| | **LD** | Massa volúmica bruta seca ≤ 1000 kg/m$^3$ | | |

Os TFV produzidos em Portugal apresentam uma massa volúmica real seca superior a 2000 kg/m$^3$ (Catálogo, 2007) enquadrando-se em ambas as classificações.

### 4.2.1 Tolerâncias dimensionais

Os tijolos HD apresentam menos categorias de classificação do que as unidades LD. As categorias ausentes na classificação de blocos HD são relativas a exigências dimensionais diferentes para a altura dos blocos relativamente à sua largura e comprimento.

A planeza das faces dos leitos e o paralelismo plano das faces dos leitos não deve exceder o valor declarado pelo fabricante em ambos.

### 4.2.2 Massa volúmica

Em tijolos HD, sempre que estes se destinam a aplicações com requisitos acústicos, a massa volúmica bruta seca deve ser declarada. A massa volúmica líquida seca deve ser declarada sempre que se considere relevante para a aplicação do tijolo. Sempre que alguma das duas grandezas referidas for declarada, existe a necessidade de indicar a respectiva categoria de tolerância (D1, D2 ou Dm).

### 4.2.3 Resistência à compressão

As exigências de resistência à compressão na NP EN 771-1:2006 são idênticas para tijolos HD e LD. Deve ser declarada a resistência média à compressão e a resistência à compressão normalizada sempre que tal seja relevante para a aplicação a que os tijolos se destinam. Quando declarada, a resistência média à compressão do número especificado de tijolos cerâmicos provenientes do lote não deve ser inferior à resistência à compressão declarada e as resistências individuais de provetes medidas na amostra de ensaio não devem ser inferiores a 80% do valor declarado.

### 4.2.4 Propriedades térmicas

As propriedades térmicas do tijolo devem ser declaradas sempre que a sua aplicação se destine a elementos com requisitos de isolamento térmico. Deve indicar-

se se a obtenção dos valores foi efectuada em cálculos, ensaios ou com base em quadros.

### 4.2.5 Durabilidade

Não existe método Europeu consensual de ensaio à resistência gelo / degelo, pelo que devem ser utilizados ensaios de acordo com a regulamentação em vigor no local. A declaração da resistência gelo / degelo deve ser sempre declarada por referência à sua aplicabilidade. O TFV em fachadas de edifícios enquadra-se sempre nas classificações F1 (exposição moderada) e F2 (exposição severa).

### 4.2.6 Absorção de água

Em TFV aplicado no exterior dos edifícios deve ser sempre declarada a absorção de água dos lotes. A absorção de água em tijolos com função de corte de capilaridade deve ser declarada pelo produtor. A taxa inicial de absorção de água deve ser declarada sempre que for relevante para a utilização prevista. Unidades LD com aplicações comuns não têm requisitos relativos à absorção de água.

### 4.2.7 Teor de sais solúveis activos

Para qualquer tijolo para aplicação com protecção limitada ou inexistente, deve ser declarado pelo fabricante o teor de sais solúveis activos com base nas categorias apresentadas no quadro 4.4.

**Quadro 4.4 – Categorias de teores de sais solúveis activos [R1].**

| Categoria | Percentagem total em massa inferior ou igual a | |
|---|---|---|
| | $Na^+ + K^+$ | $Mg^{2+}$ |
| **S0** | Sem requisito | Sem requisito |
| **S1** | 0,17 | 0,08 |
| **S2** | 0,06 | 0,03 |

### 4.2.8 Aspecto visual dos TFV

Segundo o anexo B.6 da NP EN 771-1:2006, "o aspecto destes tijolos cerâmicos e a sua avaliação deverão ser referidos num contrato de compra. O requisito variará em função da utilização a que se destinam os tijolos de face-à-vista, sendo conveniente ter em conta as suas características intrínsecas, por exemplo, revestimento corrente e execução manual. A título de orientação, é conveniente dar especial atenção a fissuras profundas ou extensas, a cantos e arestas danificados, a pedras e inclusões calcárias."

### 4.2.9 Expansão com a humidade

Esta propriedade apenas necessita de avaliação se a regulamentação nacional assim o exigir e deve ser avaliada e declarada em conformidade com as disposições em vigor no local pretendido para utilização dos tijolos cerâmicos

### 4.2.10 Reacção ao fogo

Deve ser declarada a classe de resistência ao fogo dos tijolos sempre que estes se destinem a aplicação em elementos abrangidos por requisitos desse tipo. A generalidade dos edifícios está abrangida por este grupo, em especial todos os habitacionais. Tijolos com 1,0% ou menos de materiais orgânicos distribuídos de forma homogénea em massa ou volume (deve utilizar-se o valor mais desfavorável), não necessitam de ensaios e devem ser classificados como classe A1.

### 4.2.11 Permeabilidade ao vapor de água

Deve ser declarado pelo produtor o coeficiente de difusão de vapor de água através dos valores tabelados na EN 1745 sempre que os tijolos se destinam a utilização em elementos exteriores, sendo um requisito obrigatório para a maioria do TFV.

### 4.2.12 Aderência

A aderência dos tijolos cerâmicos combinados com a argamassa só deve ser declarada se estes se destinarem a aplicação em elementos sujeitos a requisitos estruturais. Nestas condições, deve ser declarado o valor da resistência característica inicial ao corte.

### 4.2.13 Notas finais

Todos os ensaios devem ser realizados segundo a legislação aplicável, cujos documentos normativos constam da NP EN 771-1:2006.

As exigências impostas pela NP EN 771-1:2006 para unidades LD e HD têm muitos pontos comuns, encontrando-se resumidas no quadro 4.5.

**Quadro 4.5 – Características essenciais dos tijolos cerâmicos relevantes para a marcação CE (Dias e Ferreira, 2007).**

<table>
<tr><th rowspan="2">Características essenciais</th><th rowspan="2">Aplicabilidade</th><th colspan="2">Observações</th></tr>
<tr><th>HD</th><th>LD</th></tr>
<tr><td>Dimensões e tolerâncias dimensionais</td><td rowspan="6">Para tijolos com utilização prevista em elementos sujeitos a requisitos estruturais</td><td colspan="2">Valores declarados (em mm) e categoria de tolerância (T1, T2, T1+, T2+)</td></tr>
<tr><td>Configuração</td><td colspan="2">Configuração declarada (apresentada através de desenho ou descrita)</td></tr>
<tr><td>Resistência à compressão</td><td colspan="2">Valor declarado (em N/mm$^2$) com indicação da direcção de carga e da categoria do tijolo</td></tr>
<tr><td>Estabilidade dimensional</td><td colspan="2">Valor declarado da expansão com a humidade (em N/mm)</td></tr>
<tr><td>Aderência</td><td colspan="2">Valor tabelado ou valor declarado da resistência inicial ao corte (em N/mm$^2$)</td></tr>
<tr><td>Teor em sais activos solúveis</td><td colspan="2">Valor declarado do teor em sais activos solúveis com base nas classes S0, S1 e S2</td></tr>
<tr><td>Reacção ao fogo</td><td>Para tijolos com utilização prevista em elementos sujeitos a requisitos de resistência ao fogo</td><td colspan="2">Reacção ao fogo declarada com base nas classes A1 a F.</td></tr>
<tr><td>Absorção de água</td><td>Para tijolos com função de corte de capilaridade ou em elementos exteriores de face exposta</td><td>Valor declarado (em %)</td><td>Texto declarado: “Não deixar exposto”</td></tr>
<tr><td>Permeabilidade ao vapor de água</td><td>Para tijolos com utilização prevista em elementos exteriores</td><td colspan="2">Valor declarado (coeficiente de difusão de vapor de água)</td></tr>
<tr><td>Isolamento acústico aéreo directo (em condições extremas)</td><td>Para tijolos a utilizar em elementos sujeitos a requisitos acústicos</td><td colspan="2">Valor declarado da massa volúmica bruta seca (em kg/m$^3$) e configuração declarada, ilustrada ou descrita</td></tr>
<tr><td>Resistência térmica</td><td>Para tijolos sujeitos a requisitos de isolamento térmico</td><td colspan="2">Valor declarado da resistência mecânica (em m$^2$K/W) ou condutibilidade térmica equivalente (em W/m.K). Obrigatória a declaração dos meios de avaliação utilizados</td></tr>
<tr><td>Durabilidade contra o gelo / degelo</td><td>-</td><td colspan="2">Valor declarado conforme requerido pelo método de avaliação utilizado ou texto declarado: “Não deixar exposto”</td></tr>
<tr><td>Substâncias perigosas</td><td>Sempre que exista legislação de cumprimento obrigatório relativa às substâncias perigosas</td><td colspan="2">O produto deve ser acompanhado quando e onde requerido e de forma apropriada, por documentação que refira a legislação aplicável assim como toda a informação exigida por essa legislação.</td></tr>
</table>

## 4.3 Processo de fabrico do TFV

O processo de fabrico de tijolo cerâmico em Portugal é semelhante em todas as indústrias (por extrusão), sendo por isso descrito de uma forma generalista com pequenos apontamentos particulares referentes a dados recolhidos na unidade industrial da CVG, específica para a produção de TFV. Trata-se de uma unidade industrial cuja tecnologia é de 1994, não sendo representativa das unidades mais modernizadas a operar actualmente em Portugal. A figura 4.3 apresenta de forma resumida o processo de fabrico de tijolo cerâmico.

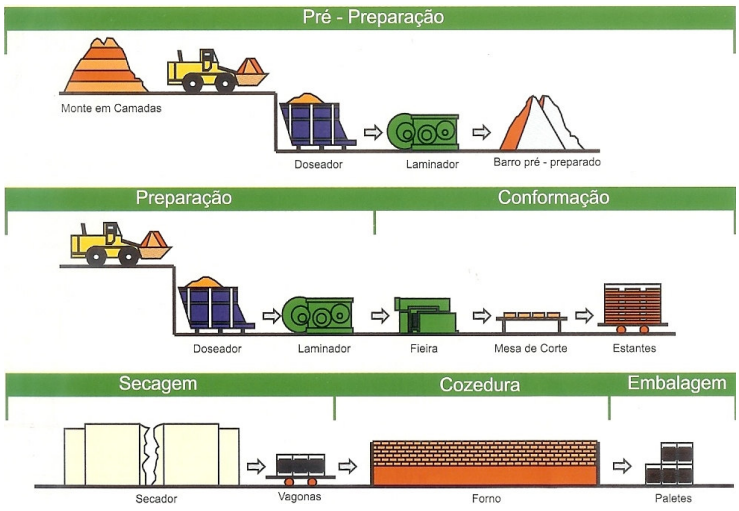



**Fig. 4.3 – Representação esquemática do processo de fabrico do tijolo cerâmico (Silva et al, 2000).**

### 4.3.1 Extracção das matérias-primas

A argila é o principal componente do tijolo cerâmico. Trata-se de uma matéria-prima natural extraída dos Barreiros (figura 4.4). A argila natural pode apresentar diferentes características. Existem duas classificações para a argila, argila "magra" e argila "gorda" (Silva et al, 2000), a primeira com menor plasticidade e segunda com maior. Quando se processa a extracção, deve ser efectuada a separação destes dois tipos de argila, para posterior deposição em montes segundo camadas intercaladas (figura 4.5). Esta extracção é preferencialmente efectuada nos meses mais secos por ser condicionada pelas condições atmosféricas.

**Fig. 4.4 – Barreiro da CVG.**

**Fig. 4.5 – Argila após extracção, junto ao doseador que dá início à pré-preparação.**

Quando se efectua a extracção procede-se à selecção do material considerado útil e do considerado estéril. O material útil será estratificado e o estéril será utilizado para reposição da topografia. A matéria-prima não é constituída exclusivamente por argila, pelo que parte do referido material estéril ficará no seio da argila. É necessário um grande rigor nesta fase. Rochas demasiado volumosas podem comprometer o sucesso das fases de produção subsequentes (nomeadamente na redução de granulometria). Matéria orgânica em excesso pode diminuir a qualidade do produto final, por induzir porosidade em excesso nas peças durante a cozedura (Brito e Correia, 2003).

Terminado o processo de extracção e estratificação, procede-se à pré-preparação do material.

### 4.3.2 Pré-preparação

Este processo tem por objectivo homogeneizar a matéria-prima e reduzir-lhe a granulometria. Para esse efeito, podem ser utilizadas várias máquinas sequencialmente, como destorroadores, laminadores ou amassadoras. Por vezes, são utilizados diferentes laminadores que reduzem a granulometria progressivamente até se obter dimensões máximas na ordem dos 3 a 5 milímetros.

Neste processo, são corrigidas as propriedades da matéria-prima, com utilização de água e outros aditivos (como inertes ricos em sílica). Os produtos a adicionar

variam consoante a constituição da matéria-prima e as propriedades do produto final que se pretende obter.

A matéria-prima final é armazenada em local protegido, onde ficará em repouso até ser necessária à produção de TFV.

### 4.3.3 Preparação

Quando se pretende fabricar tijolo, o material que está em repouso após pré-preparação é colocado num doseador que irá alimentar um novo processo de redução granulométrica, mais rigoroso e eficiente. Neste processo, podem ser utilizadas novamente várias máquinas sequencialmente, como laminadores (figura 4.6), laminadores articulados (figura 4.7) e equipamentos de homogeneização. Um laminador articulado é mais eficiente porque possui um sistema de aperto hidráulico nos cilindros de esmagamento que reduzem a matéria-prima a granulometrias da ordem de 1 mm. Durante a homogeneização, é adicionada água que transforma a matéria-prima numa pasta que permite a trabalhabilidade necessária ao processo de extrusão.

**Fig. 4.6 – Laminador simples.**

**Fig. 4.7 – Laminador articulado.**

### 4.3.4 Conformação

A conformação ocorre de forma sequencial com a preparação, sendo por vezes a homogenização do material feita na mesma máquina que efectua a extrusão. A figura

4.8 mostra uma máquina com essas características, que entre os dois referidos procedimentos efectua também a extracção de todo o ar existente na pasta de argila. Este processo de extracção do ar contribui para uma maior resistência do produto final e para a diminuição de imperfeições durante a cozedura. É por isso particularmente importante na produção de TFV. No final da extrusora (figura 4.9) existe um molde com a forma negativa do tijolo. Após a passagem pela extrusora (ou fieira), os tijolos passam por um processo de corte e biselagem das arestas.

O material que sai da extrusora pode passar por um outro dispositivo antes do corte e biselagem. Esse dispositivo (figura 4.9) permite dar acabamentos com diferentes texturas ao tijolo, com a passagem de rolos com os negativos da textura em relevo.

**Fig. 4.8 – Fieira aberta para manutenção.**

**Fig. 4.9 – Dispositivo para texturar tijolos.**

### 4.3.5 Secagem

Os tijolos, já com a sua forma final, são armazenados em câmaras de secagem, em camadas singulares. As peças ficam em "estantes" durante mais de 40 horas a temperaturas que variam, por patamares, desde a temperatura ambiente até 60 ºC. As câmaras possuem ventiladores internos que injectam ar quente proveniente do arrefecimento dos fornos de cozedura (figura 4.10).

**Fig. 4.10 – Câmara de secagem de tijolo com o ventilador ao centro.**

### 4.3.6 Cozedura

Após secagem, os tijolos são retirados das estantes e colocados em vagões, empilhados de acordo com o posicionamento dos queimadores do forno, que irão realizar a combustão nos espaços vazios das pilhas de tijolos. A cozedura é efectuada num forno do tipo túnel (figura 4.11), habitualmente alimentado a gás natural. O processo de cozedura passa por vários patamares de temperatura com uma determinada sequência de avanço. Este funcionamento é monitorizado permanentemente. A cozedura inicia-se com o pré-forno, numa zona em que os gases de queima são evacuados, passando pela zona de cozedura propriamente dita, que começa a partir de 700 ºC e onde ocorre a sinterização do tijolo (Brito e Correia, 2000). É nesta fase que o forno atinge as temperaturas mais elevadas, no seio dos queimadores do forno, onde as temperaturas atingem 1100 ºC. No final do forno, existem ventiladores que fazem a injecção de oxigénio no túnel ajudando ao arrefecimento do material até à sua saída, com temperaturas a rondar 50 ºC.

A monitorização das temperaturas no interior do forno é tão importante durante a fase de aquecimento, como na de arrefecimento. A velocidade com que o material é aquecido e arrefecido determina a forma como as reacções internas ocorrem, sendo um processo de extrema importância para garantir a qualidade do produto final. A figura 4.12 apresenta uma possível configuração das pilhas de tijolos que passam pelo forno.

**Fig. 4.11 – Forno tipo túnel.**

**Fig. 4.12 – Vagões após saída do forno.**

### 4.3.7 Embalagem do material

Após arrefecimento completo do tijolo, este é colocado em paletes e embalado em plástico. Nesta fase, o TFV pode ser hidrofugado por imersão das paletes em tanques de hidrofugação, de forma a melhorar o desempenho do material relativamente à humidade. Após todo o processo descrito, o tijolo nesta fase encontra-se pronto a ser comercializado e aplicado em obra.

# 5 Alvenaria de TFV

A alvenaria de TFV pode assumir uma grande diversidade de aplicações. Para além da aplicação em fachadas de edifícios correntes, pode ser aplicada unicamente com funções estéticas com aberturas deixadas propositadamente entre os tijolos. Quando aplicada em fachadas de edifícios correntes pode ser feita com funções estruturais ou de enchimento. Qualquer que seja o tipo de aplicação o TFV requer sempre um grande rigor de execução.

## 5.1 Execução

O presente capítulo pretende salientar os aspectos mais relevantes na execução de fachadas de TFV. A aplicação do TFV difere de país para país e em Portugal ainda não existe um manual completo sobre a sua aplicação. Sempre que possível, são utilizadas referências nacionais, como o Manual Técnico de aplicação de TFV (Manual, 2006), elaborado pela CVG e o mais completo neste aspecto a nível nacional. São utilizados como complementos às referências nacionais um manual técnico Italiano (Brambilla, 2001), um Inglês (Powell et al, 2005) e um Espanhol (Hispalyt, 1998). Devido à escassa, ou nula expressão na utilização de TFV estrutural em fachadas de edifícios em Portugal, o tema não é apresentado neste capítulo.

### 5.1.1 Fachadas correntes

A alvenaria de TFV ainda tem pouco expressão como solução de fachada de edifícios em Portugal. A sua aplicação é efectuada maioritariamente como pano exterior de paredes duplas. Os pontos seguintes referem-se a este tipo de solução.

#### 5.1.1.1 Medidas a efectuar antes de iniciar a aplicação

O material recepcionado deve ser alvo de inspecção visual. Para além da qualidade do material, devem ser comparados diferentes lotes ou entregas para a eventualidade de existirem pequenas diferenças de tonalidade. Caso existam, devem ser aplicados em fachadas diferentes ou misturados de forma homogénea. O tijolo recepcionado deve ser armazenado em locais limpos, secos e protegidos das intempéries. Todo o material deslocado para a frente de obra ou em processo de aplicação deve também ser alvo dos mesmos cuidados.

É aconselhável efectuar um painel modelo (murete de prova) da aplicação do tijolo, representativo do aspecto final pretendido para a fachada, localizado de forma a ser representativo das condições de visibilidade e iluminação da fachada, ou em alternativa num local de boa iluminação. Este painel deve ser observado a uma distância não inferior a 3 metros (Hispalyt, 1998). Quaisquer detalhes mais elaborados da fachada devem ser reproduzidos neste painel que permite (Powell et al, 2005):

- estabelecer um padrão de qualidade de acabamento consensual entre a entidade contratante e a executante;
- escolher o tipo e coloração de junta mais adequado;
- analisar o comportamento da ligação argamassa tijolo;
- verificar se as peças especiais apresentam uma dimensão e coloração adequadas;
- constatar o nível de qualidade que o tijolo apresenta após aplicação;
- evitar conflitos relativos à forma de execução do trabalho.

Deve haver uma consulta cuidada do projecto, de forma a escolher a distribuição do TFV e espessura das suas juntas. Devem evitar-se cortes em excesso, aplicação de peças demasiado pequenas cuja estabilidade possa ser inferior ou qualquer outro pormenor que afecte a estética ou a estabilidade da parede. Devem ser tidas em conta as aberturas na fachada, como janelas e portas, de forma a que a localização destas aberturas não comprometa nenhum dos referidos factores. A figura 5.1 apresenta um exemplo de aplicação correcta e um de aplicação errada.

Antes de iniciar o assentamento, deve aplicar-se uma camada de tijolos a seco (sem argamassa) para verificar a compatibilidade do modo de aplicação e decidir a espessura que as juntas devem possuir (figura 5.2).

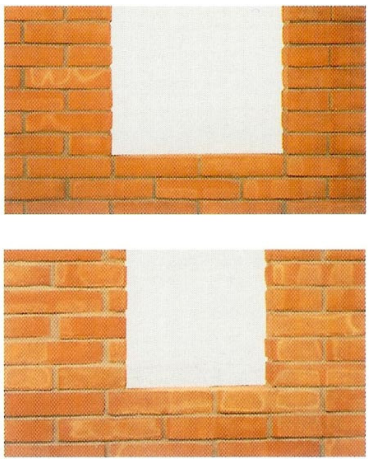


**Fig. 5.1 – Aplicação correcta (em cima) e errada (em baixo) de TFV num vão de janela (Brambilla, 2001).**

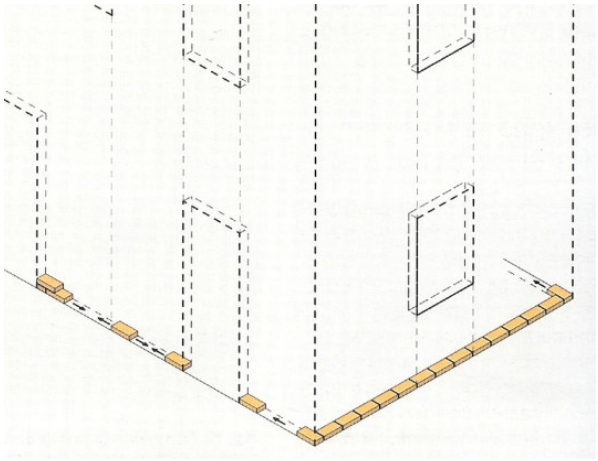


**Fig. 5.2 – Aplicação de uma camada a seco, tendo em conta a localização das aberturas existentes na fachada (Brambilla, 2001).**

### 5.1.1.2 Metodologia de assentamento

O TFV, quando não hidrofugado, deve ser humedecido antes da aplicação para prevenir a desidratação da argamassa devido à absorção de água por parte do tijolo. A necessidade deste procedimento e o nível de humedecimento devem ser baseados nas condições atmosféricas na altura da aplicação e na porosidade que o tijolo apresenta. Não devem ser aplicados tijolos que se encontrem saturados.

Os tijolos para aplicação devem ser retirados em camadas verticais e de no mínimo 2 ou 3 paletes, como esquematizado na figura 5.3, de forma a misturar tijolos, procurando obter uma boa homogeneização das características da fachada. O TFV deve ser aplicado primeiro em pontos de referência, como ombreiras de portas e janelas ou cantos de edifícios (figura 5.4). Devem ser executadas algumas fiadas de forma escalonada, até perfazer uma altura de 6 ou 7 tijolos, como indicado na figura 5.4. Devem ser feitas bitolas de madeira, com cortes a assinalar a altura a que a face superior dos tijolos deve ficar. Essas bitolas podem ser fixadas nos cantos das paredes (figura 5.5), verticalmente e ser utilizadas pelo pedreiro para verificar a correcta

espessura das juntas ao longo da restante parede, sempre que necessário. Devem ser colocados fios para facilitar a execução de troços de parede rectilíneos e também para controlar a horizontalidade das camadas. O alinhamento das juntas deve ser verificado com a ajuda de um nível de bolha de ar, um fio-de-prumo (figura 5.6) ou fios verticais fixos, servindo de orientação em determinados pontos da fachada.

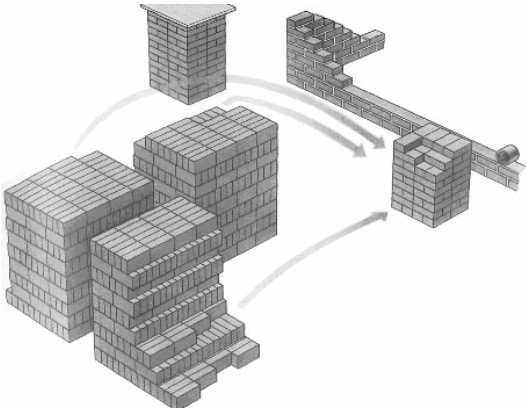


**Fig. 5.3 – Metodologia de selecção de tijolos para aplicação (Powell et al, 2005).**

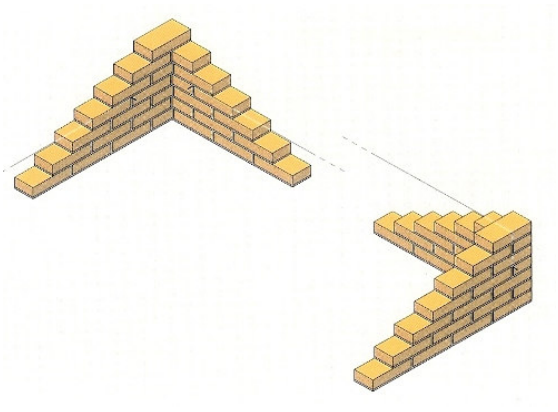


**Fig. 5.4 – Aplicação dos primeiros tijolos em pontos de referência (Brambilla, 2001).**

Esta metodologia de aplicação pode apresentar alguns problemas em Portugal, visto que a diversidade na dimensão de tijolos fabricados é reduzida e os acabamentos biselados das arestas dificultam a aplicação de peças cortadas a meio das fachadas, algo que pode ser necessário perante os requisitos anteriormente referidos. A figura 5.7 evidencia vários exemplos de como executar uma parede inserindo tijolos de dimensões mais reduzidas.

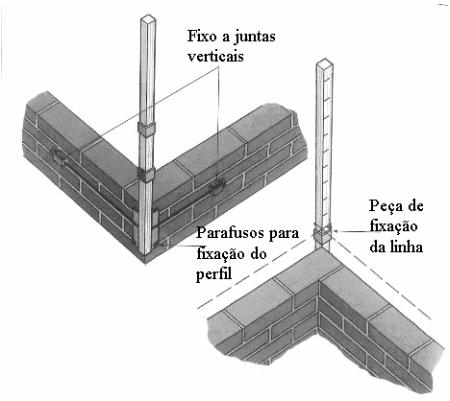



**Fig. 5.5 – Bitola fixa no canto da parede (Powell et al, 2005).**

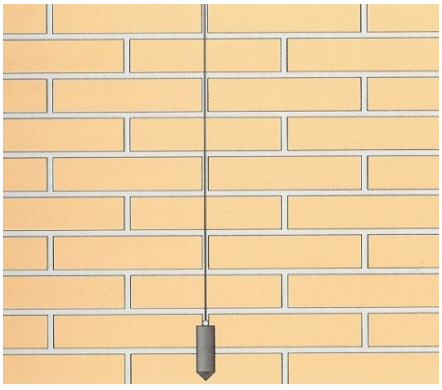


**Fig. 5.6 – Verificação do alinhamento vertical das juntas (Brambilla, 2001).**

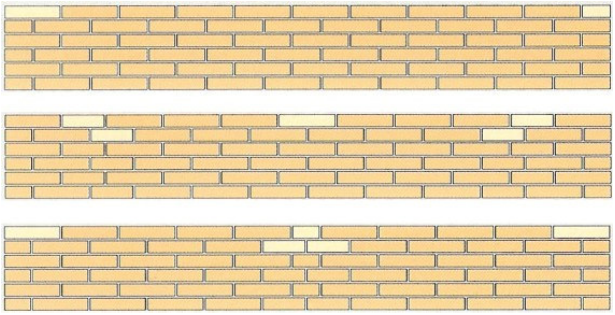


**Fig. 5.7 – Aplicação de tijolos de diferentes dimensões numa fachada (Brambilla, 2001).**

Um estudo cuidado em fase de projecto, prevendo a disposição dos tijolos facilita muito a sua aplicação e favorece esteticamente as fachadas. O procedimento descrito deve ser repetido sistematicamente, fazendo 6 a 7 camadas de cada vez.

#### 5.1.1.3 Manuseamento da argamassa de assentamento e execução de juntas

A argamassa para assentamento de TFV tem de apresentar uma maior consistência do que as argamassas utilizadas correntemente para o assentamento de TF. A argamassa deve ter uma consistência tal que previna:

- escorrimento de argamassa pela face à vista do tijolo;
- queda de argamassa para o interior da furacão do tijolo;
- abatimento das juntas inferiores devido ao peso das camadas superiores de tijolo.

A argamassa deve ser aplicada no local de assentamento do tijolo (na horizontal) em quantidades que permitam o total preenchimento da junta. Deve ser evitado o excesso de argamassa. Com o auxílio de uma colher de pedreiro, deve ser colocada argamassa no topo do tijolo (figura 5.8) que serve de ligação a outro tijolo previamente assente. O excesso de argamassa após a aplicação do tijolo é retirado, enquanto que o tijolo é pressionado de forma a ficar nivelado e aprumado (figura 5.9). Deve-se evitar dar pancadas fortes para não danificar o tijolo. A argamassa de assentamento fica à face do tijolo. Todas as operações de manuseamento de argamassa devem ser feitas de forma a evitar ao máximo o contacto da face destinada a ficar visível com esta. A figura 5.10 apresenta a forma mais correcta para proceder à

retirada do excesso de argamassa, nunca pressionando a argamassa contra a face do tijolo.

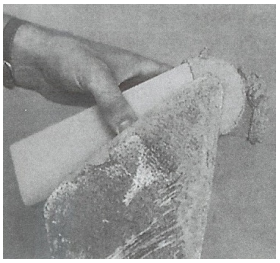


**Fig. 5.8 – Colocação de argamassa no topo do tijolo (Powell et al, 2005).**

**Fig. 5.9 – Assentamento do tijolo, pressionando as duas superfícies com argamassa (Brambilla, 2001).**

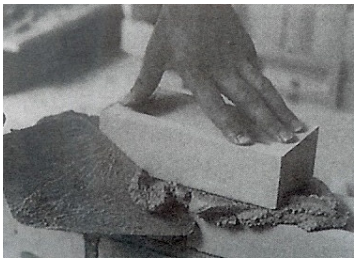


**Fig. 5.10 – Correcto procedimento de corte da argamassa (Powell et al, 2005).**

As juntas devem ficar com 1 a 1,5 cm de espessura e devem ser acabadas quando a argamassa apresentar um pouco mais de consistência do que no momento do assentamento do tijolo. Nesta fase, utilizam-se ferramentas específicas (figura 5.11), como o carrinho de refundamento de juntas, para executar o tipo de junta prevista em projecto. A figura 5.12 apresenta alguns tipos de juntas correntes em TFV.

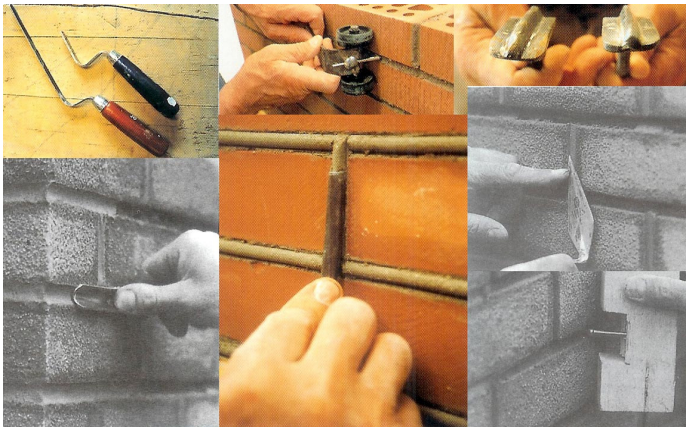


**Fig. 5.11 – Diversos utensílios para a execução de juntas em TFV (adaptado de Brambilla, 2001 e Powell et al, 2005).**

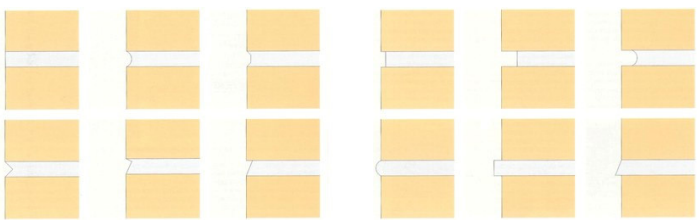


**Fig. 5.12 – Diferentes tipos de juntas de TFV (Brambilla, 2001).**

#### 5.1.1.4 Constituição das argamassas de assentamento e cuidados especiais

É aconselhável a utilização de argamassa bastarda para a aplicação de TFV. Serão tidas em consideração neste ponto, as recomendações da CVG para argamassas de montagem de TFV (Manual, 2006).

Não devem ser utilizados cimentos com resistências características superiores a 350 N/cm$^2$, dado que para igual resistência da argamassa se reduz a plasticidade da mistura. Para melhorar a plasticidade da argamassa e dar-lhe uma coloração mais clara, deve utilizar-se cal hidráulica (ou hidratada). O cimento branco também pode ser utilizado para obter tonalidades mais claras. Apenas é permitido o uso de cimentos aluminosos em paredes de características refractárias. A cal tem ainda a vantagem de melhorar a retenção de água das argamassas, garantindo uma melhor hidratação durante o processo de presa. A cal hidráulica deve representar valores da ordem dos 15% da totalidade do ligante da argamassa (cal e cimento), podendo ir até a um máximo de 50%. A cal hidratada, a ser adicionada, deve ser contabilizada como plastificante e não como ligante hidráulico. Esta deve representar na mistura um máximo de 20% da quantidade de ligante.

A areia utilizada nas argamassas deve encontrar-se livre de matéria orgânica e apresentar granulometria de acordo com o quadro 5.1.

**Quadro 5.1 – Requisitos da granulometria das areias (Manual, 2006).**

| Malha da rede em mm | % que passa | Condições |
|---|---|---|
| 2,5 | A | $90 \leq A \leq 100$ |
| 1,25 | B | $30 \leq B \leq 100$ B-C $\leq 50$ |
| 0,63 | C | $15 \leq C \leq 70$ C-D $\leq 50$ |
| 0,32 | D | $5 \leq D \leq 50$ B-D $\leq 70$ |
| 0,16 | E | $0 \leq E$ 30 |

A adição de saibro às argamassas, quando bem doseado e com granulometria adequada, pode melhorar a plasticidade e a trabalhabilidade da argamassa, reduzir a água de amassadura e o aparecimento de eflorescências, facilita a limpeza, confere elasticidade às juntas depois de secas, reduz a fissuração e melhora a impermeabilização das fachadas. O saibro não deve apresentar granulometria superior a 2 milímetros. Este deve representar 1/5 a 2/5 dos agregados da argamassa,

consoante este seja muito rico em finos (gordo) ou menos rico em finos (magro), respectivamente.

A água de amassadura apresenta requisitos idênticos aos habitualmente exigidos em argamassas de assentamento de alvenarias. Deve ser potável e apresentar o mínimo de sais passíveis de provocar eflorescências nas fachadas. Esta deve ser na menor quantidade possível, sem prejudicar as propriedades de trabalhabilidade da argamassa. O excesso de água na argamassa causa problemas de consistência como os que foram referidos no início do ponto 5.1.1.3, especialmente os de assentamento das camadas inferiores de tijolo por retardamento da presa da argamassa, ou simplesmente ausência de consistência na fase de assentamento. O escorrimento de água de amassadura, retirando ligante à mistura, depositando-o na fachada é outro factor a ter em conta.

Podem ainda ser adicionados às argamassas aditivos como plastificantes, corantes e hidrófugos. Os aditivos não devem influenciar significativamente o desempenho da argamassa, induzindo substâncias que originem eflorescências, diminuam resistência e durabilidade, entre outros parâmetros de qualidade já descritos. Os indutores de ar são por vezes utilizados nestas argamassas. Estes podem ter efeitos benéficos, como o aumento da trabalhabilidade e da resistência a ciclos gelo-degelo, mas também efeitos negativos como a diminuição de resistência, de aderência e de impermeabilidade da argamassa, pelo que a sua utilização deve ser feita apenas em condições em que os seus benefícios assumam uma relevância significativa, face aos inconvenientes. Os hidrófugos são comuns de forma a melhorar a estanquidade do pano exterior de alvenaria e a aderência da argamassa. As juntas de argamassa representam 20 a 25% da superfície exposta da fachada de TFV e são muitas vezes a principal fonte de infiltração de água na caixa-de-ar das paredes.

Todas as opções na escolha de uma argamassa devem ser função das características específicas de cada aplicação. No caso de tijolos de baixa absorção e/ou hidrofugados, é preciso ter em conta que não existe uma percentagem significativa de água absorvida pelo elemento cerâmico, o que obriga a que a argamassa tenha uma menor quantidade de água. A diminuição da água de amassadura retira trabalhabilidade ao material. Para colmatar o problema da trabalhabilidade, deve utilizar-se uma maior percentagem de agregados finos, maior quantidade de cal e os já referidos aditivos, como plastificantes.

Na escolha de todos os componentes descritos, é muito importante ter em conta o teor de sais dos componentes, de forma a evitar problemas de eflorescências nas fachadas (figura 5.13). As eflorescências são um problema particularmente importante no TFV cuja vertente estética é uma das mais relevantes para a valorização das fachadas, podendo tornar-se num factor negativo devido à má execução. A uniformidade da composição da argamassa ao longo da execução de toda a fachada, também é muito importante para garantir um resultado final satisfatório.

**Fig. 5.13 – Caso grave de eflorescências numa parede de TFV**

#### 5.1.1.5 Traços tipo e resistência das argamassas de assentamento

A resistência mecânica da argamassa não deve ser superior à do TFV. O quadro 5.2 apresenta os valores de resistência característica das argamassas em função dos seus traços, segundo a norma espanhola UNE 83-800-94 [R27].

De seguida (quadro 5.3), são indicados alguns dos traços sugeridos pela CVG. Trata-se de informação meramente indicativa, que não dispensa a realização de ensaios em obra e cujo desempenho está dependende da qualidade dos materiais utilizados, do processo de amassadura e da correcta medição dos componentes. A CVG não se responsabiliza por quaisquer danos resultantes da utilização da informação disponibilizada.

**Quadro 5.2 – Composição e resistência característica segundo a Norma Espanhola UNE 83-800-94 (Manual, 2006).**

| Tipos de argamassa | Resistência característica ($N/mm^2$) | Partes de cimento | Partes de cal apagada | Partes de cal hidráulica | Partes de areia |
|---|---|---|---|---|---|
| M-2,5 a | 2,5 | 1 | - | - | 8 |
| M-2,5 b | 2,5 | 1 | 2 | - | 10 |
| M-2,5 c | 2,5 | - | - | 1 | 3 |
| M-5 a | 5 | 1 | - | - | 6 |
| M-5 b | 5 | 1 | 1 | - | 7 |
| M-7,5 a | 7,5 | 1 | - | - | 8 |
| M-7,5 b | 7,5 | 1 | ¼ | - | 10 |
| M-15 a | 15 | 1 | - | - | 3 |
| M-15 b | 15 | 1 | ¼ | - | 3 |

**Quadro 5.3 – Exemplos de traços de argamassa de assentamento de TFV.**

| Traço | Cimento | Cal | Areia | Saibro | Notas |
|---|---|---|---|---|---|
| **1 : 1/7 : 5** | 1 | 1/7 | 3 | 2 | |
| **1 : 1 : 10** | 1 | 1 | 4 (lavada) | 6 | Bastarda e rústica |
| **1 : 1/4 : 6** | 1 | 1/4 | 4 | 2 | |
| **1 : 1 : 8** | 1 | 1 | 8 | - | Bastarda para tijolo maciço |
| **1 : 1/4 : 5** | 4 | 1 | 14 | 6 | Bastarda |
| **1 : 1/2 : 8** | 1 | 1/2 | 5 | 3 | Bastarda |
| **1 : 1/2 : 6** | 1 (branco) | 1/2 (hidráulica) | 6 (fina branca) | - | Branca |

A menos de indicação em contrário, os constituintes indicados são:

- cimento – portland composto, tipo II, classe 32,5;
- cal – hidráulica HL5 ou cal hidratada;
- areia – sempre não salinizada;
- saibro – argiloso vermelho, crivado a 2 mm;

É recomendada também a utilização de um hidrófugo que deve ser aplicado segundo as percentagens indicadas pelo fabricante. A quantidade de água de amassadura é inferior à de argamassas de assentamento comuns, como as utilizadas para TF, sendo até 50% inferior, factor devido às propriedades plastificantes de alguns dos seus componentes.

#### 5.1.1.6 Grampeamento

Os panos exteriores de alvenaria de TFV são ancorados ao pano interior da parede dupla por intermédio de grampos ou âncoras de retenção (*wall ties*). Em Portugal não são produzidos grampos. Como referência, indicam-se alguns tipos de grampos utilizados no país na figura 5.14. Por vezes, em alternativa, em obra, utiliza-se arame zincado ou arame de aço para produzir grampos, algo que não é recomendável por falta de controlo de qualidade da execução dos mesmos e do material utilizado.

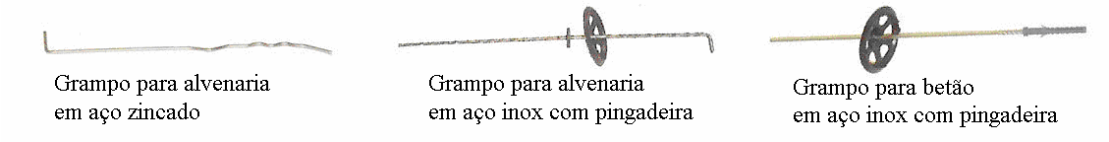
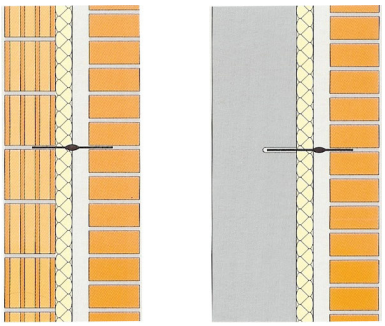



**Fig. 5.14 – Alguns grampos utilizados em Portugal (adaptado de Manual, 2006).**

Segundo o manual técnico da CVG (Manual, 2006), devem existir 5 grampos por metros quadrado de alvenaria com uma distribuição uniforme, como apresentado no anexo A13. Em pontos singulares, como vãos, juntas de dilatação e cunhais, devem ser aplicados adicionalmente 3 grampos por metro linear. Brambilla (2001) afirma que, segundo uma metodologia de cálculo apresentada na sua obra, devem ser utilizados 3,6 grampos/$m^2$. Não se trata de uma questão consensual, pelo que são apresentados no quadro 5.4 valores utilizados em alguns países. Os grampos devem possuir pingadeira na caixa-de-ar. Devem ser colocados previamente nas juntas de argamassa dos elementos do pano interior da alvenaria (figura 5.15a), durante a execução deste. No caso do pano interior ser de outra natureza, como betão armado, os grampos podem ser fixos inserindo-os em furos executados previamente e preenchidos com produtos de colagem de alta resistência (figura 5.15b), que se adequem às cargas e outras solicitações que estes elementos devem suportar, ou com buchas que cumpram as mesmas exigências. Durante a execução do pano exterior, os grampos são colocados no seio das juntas, com o mínimo de desvio possível do seu ponto de fixação relativamente ao pano interior, nunca ficando a uma altura superior no pano exterior. Na figura 5.16, são apresentadas considerações geométricas relativamente à correcta fixação de um grampo.

**Quadro 5.4 – Área e número de grampos em alguns países (adaptado de Brambilla 2005).**

| | Inglaterra | Bélgica | Países Baixos | Alemanha | E. U. A |
|---|---|---|---|---|---|
| **Grampos/m$^2$** | 2,5 - 5* | 5 | 4 | 5 | 2,5 - 3,7* |
| **Secção dos grampos [mm$^2$]** | 15,9 | 12,6 | 10 - 12,6* | 7,1 - 12,6* | 15,9 |
| **Área total de grampo/m$^2$ de parede [mm$^2$]** | 39,8 - 79,5* | 48,3 | 50,4 | 35,5 - 63* | 39,75 - 58,83* |
| *valores variam consoante a espessura da caixa-de-ar. | | | | | |



a) b)

**Fig. 5.15 – Fixação de grampos em a) em alvenaria de tijolo e b) parede de betão armado (adaptado de Brambilla 2001).**

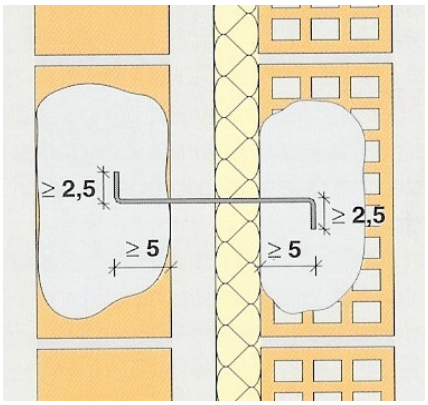



**Fig. 5.16 – Medidas mínimas recomendadas para fixação de grampos (Brambilla, 2001).**

Para fachadas cuja execução não é exclusivamente vertical e em que os tijolos aparecem salientes, com diminuição de área de apoio de forma a colocar em causa a estabilidade da parede, podem usar-se peças de fixação especiais. Trata-se de uma situação ainda pouco frequente em Portugal. São apresentados exemplos nas figuras 5.17 e 5.18, com o intuito de ilustrar o cenário descrito.

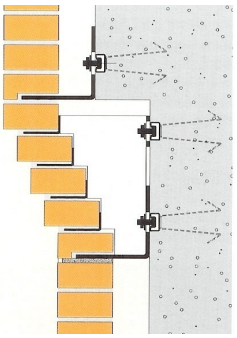


**Fig. 5.17 – Fixação de TFV a fachada de betão com saliência (Brambilla, 2001).**

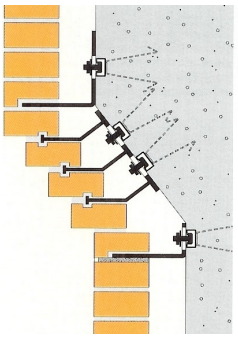


**Fig. 5.18 – Fixação de TFV a fachada de betão oblíqua (Brambilla, 2001).**

#### 5.1.1.7 Caixa-de-ar e isolamento

A solução de parede dupla generalizou-se em Portugal, bem como a utilização de isolamento térmico no interior das caixas-de-ar. Também o TFV é aplicado em Portugal nesse sistema. A execução deste tipo de paredes apresenta diferenças significativas face às tradicionais paredes duplas de TF.

O primeiro entrave à aplicação feita habitualmente é a manutenção da limpeza da caixa-de-ar, essencial para garantir a ventilação e escoamento da humidade desta e evitar pontes de humidade do pano exterior para o interior, através da porosidade da argamassa. Uma possibilidade é deixar a cada três tijolos assentes um por colocar na primeira fiada de TFV, para que se efectue uma limpeza diária de porções de argamassa ou outras impurezas que se depositem. Outra alternativa é a apresentada na figura 5.19. Coloca-se uma peça de madeira que ocupe o espaço da caixa-de-ar, de forma a impedir que a argamassa que vá caindo, se deposite nesta. Essa peça encontra-se suspensa e é retirada periodicamente, trazendo consigo a argamassa depositada na sua superfície. A existência de grampos dificulta esta tarefa. Os grampos dificultam também a colocação de placas de isolamento, em poliestireno extrudido, mas a existência dos grampos permite também uma melhor fixação das placas ao pano interior de alvenaria (figura 5.20). As placas devem ser previamente furadas nas zonas necessárias e não forçadas contra os grampos. Esta acção incorrecta pode danificar os grampos e as placas de isolamento. Os furos efectuados, bem como as juntas entre placas, devem ser seladas com material destinado ao efeito, de forma a não comprometer o desempenho térmico do isolamento. O poliuretano projectado surge como uma alternativa preferencial na colocação de isolamento. Este pode ser aplicado normalmente, desde que os grampos sejam limpos após aplicação de forma a não afectar a aderência destes à argamassa da junta de TFV. O poliuretano projectado tem de ser aplicado de forma a não estar muito tempo exposto à luz solar, para evitar a sua degradação, que coloca em causa a sua eficiência. Este permite criar uma camada impermeabilizante que protege o pano interior das humidades existentes na caixa-de-ar de forma contínua. No caso das placas de poliestireno extrudido, é necessário efectuar um reboco hidrófugo na face do pano interior à qual o isolamento térmico irá encostar. Recomenda-se ainda a colocação de tela impermeabilizante em pontos críticos como a caleira da caixa-de-ar.

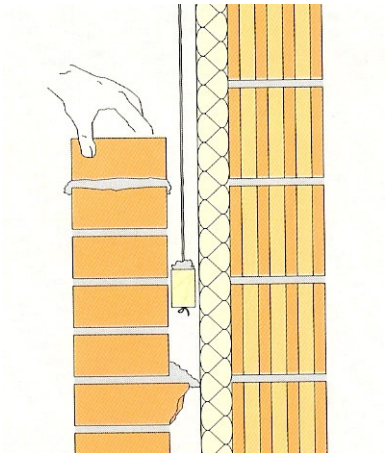


**Fig. 5.19 – Sistema para manter a caixa-de-ar sem argamassa e perigo de colocação de tijolos mal cortado (Brambilla, 2001).**

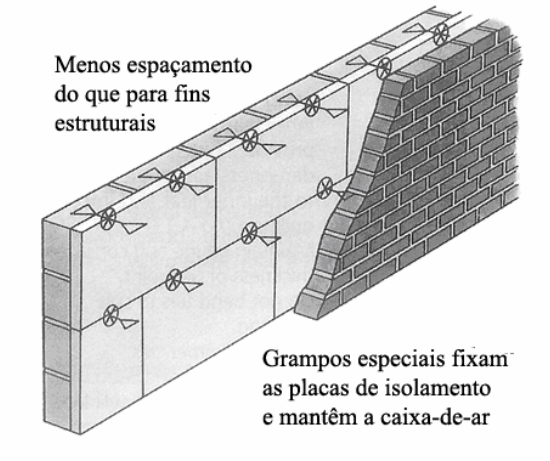



**Fig. 5.20 – Grampos com sistema de fixação do isolamento térmico ao pano interior de alvenaria (Powell et al, 2005).**

Na base da caixa-de-ar, deve efectuar-se uma caleira, normalmente uma meia cana ou quarto de cana em argamassa hidrófuga revestida com uma membrana impermeável. É de extrema importância a ausência de fissuração na caleira por ser a zona da caixa-de-ar mais susceptível de contacto com a humidade e também onde existe mais facilidade de infiltração por existir ligação entre o pano exterior e interior. Essa caleira tem por função escoar a humidade existente na caixa-de-ar para o exterior. Para permitir esse escoamento, na primeira fiada de tijolo, ao nível da caleira, devem ser deixadas juntas verticais vazias, com um espaçamento máximo de um metro, o que conduz, em geral, a uma junta por preencher a cada 4 tijolos aplicados (5.21). Em alternativa, podem substituir-se tijolos por grelhas de ventilação em aço inox, que podem ser pintadas da cor do tijolo. Estas aberturas de escoamento promovem também a ventilação das caixas-de-ar. Na figura 5.22, é apresentado um corte da zona de uma caleira.

Existem alternativas às caleiras descritas, executando outras formas (figura 5.23) ou mesmo não executando caleira (figura 5.24), desde que se aplique uma membrana isolante adequada executada correctamente.

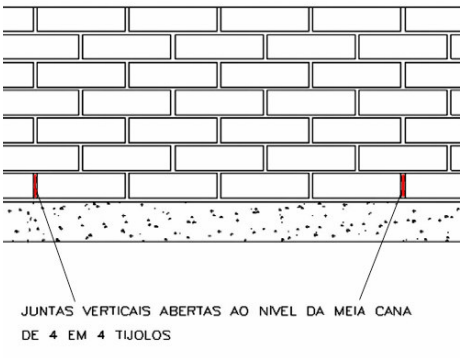



**Fig. 5.21 – Juntas para escoamento (adaptado de Camarneiro, 2002).**

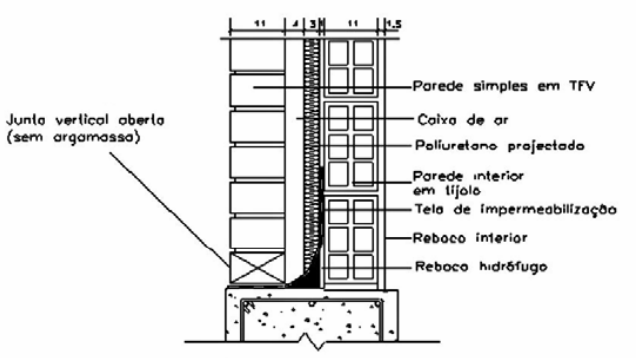



**Fig. 5.22 – Corte da zona da caleira de escoamento de uma parede dupla de TFV (Camarneiro, 2002).**

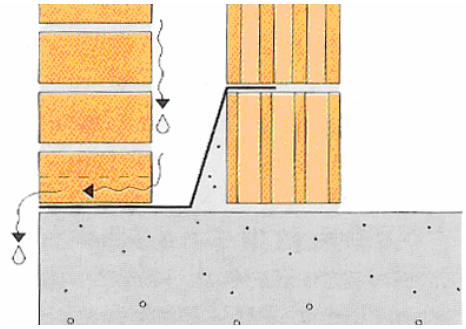


**Fig. 5.23 – Caleira "triangular" revestida com membrana isolante (Brambilla, 2001).**

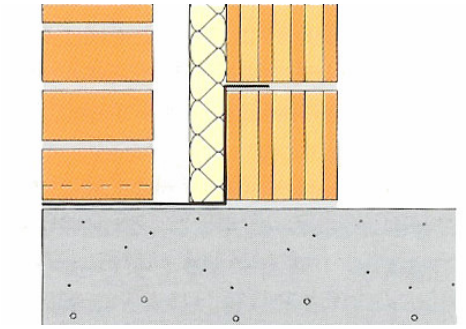


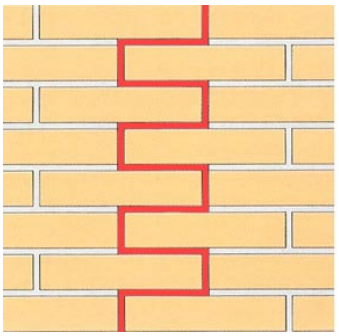
**Fig. 5.24 – Ausência de caleira de escoamento na base da caixa-de-ar (Brambilla, 2001).**

### 5.1.1.8 Juntas de dilatação

As juntas de dilatação (ou juntas de movimento) servem para prevenir fissuração nas fachadas, por acção da humidade e da variação de temperatura. Estas devem ser efectuadas apenas no pano exterior de alvenaria. É este pano que sofre uma maior variação térmica entre o dia e a noite. Quando existe isolamento térmico entre os dois panos, a variação de temperatura do pano interior é irrelevante e o calor do interior do edifício não tem influência no pano exterior. Este fica assim sujeito essencialmente à variação térmica diária e à variação térmica sazonal.

As juntas devem estar distanciadas entre 10 a 15 metros, chegando a ser apontados valores máximos de 25 metros. Estes valores dependem da localização geográfica, das amplitudes térmicas dos locais, da exposição solar e das propriedades do tijolo utilizado. A título de exemplo, o tijolo silico-calcário requer valores da ordem dos 6 metros (Powell et al, 2005).

As juntas devem ter entre 1 e 2 mm (Powell et al, 2005) e a sua localização deve ser escolhida tendo em conta as necessidades de expansão em pontos críticos e a preservação da estética das fachadas. As juntas verticais podem ser rectilíneas ou acompanhar o traçado das juntas da restante fachada. A primeira alternativa é a mais comum, por ser mais fácil de executar. A figura 5.25 apresenta os dois tipos de junta e a figura 5.26 um caso prático de utilização do segundo tipo de juntas referido.



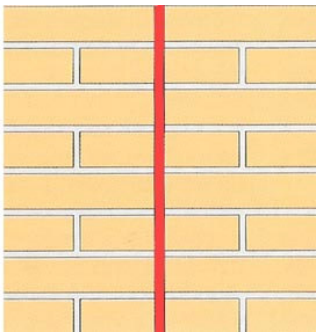


**Fig. 5.25 – Dois tipos de junta vertical, acompanhando o disposição das juntas e através de corte vertical (adaptado de Brambilla, 2001).**

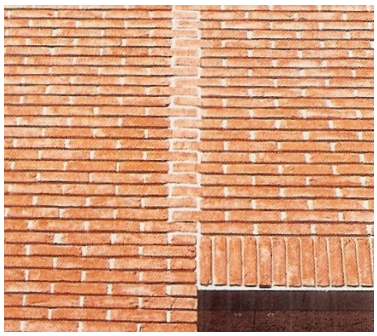


**Fig. 5.26 – Exemplo prático de execução de junta vertical sem corte (Brambilla, 2001).**

A figura 5.27 apresenta de maneira simplificada a forma como se devem distribuir as juntas de dilatação em fachadas de edifícios em função da exposição solar. Segundo Klaas (1993), a fachada mais afectada pelas variações térmicas é a Oeste, pois o sol atinge-a de forma mais directa ao final do dia, quando a temperatura ambiente ainda é elevada. Segue-se a fachada Sul, devido à localização da Europa no hemisfério Norte, sofrendo ao longo do dia uma radiação considerável. A Este, que apesar de ter uma incidência mais directa do sol, esta ocorre durante a manhã, quando a temperatura ambiente é baixa, sendo a terceira fachada com maior variação térmica. A fachada a Norte é a que menos exposição solar tem e a que apresenta menores variações de temperatura relativamente à noite.

As juntas devem ser colocadas ainda nas zonas de fachada interceptadas por elementos, com significativas dimensões, diferenças de rigidez e de coeficiente de variação térmica, de tal forma que o seu comportamento diferencial provoque tensões em pontos das fachadas, demasiado elevadas para que os materiais que a constituem possam suportar. Enquadram-se nesta descrição as aberturas para janelas e portas (figura 28). Como exemplo, a rigidez das pedras de peitoril utilizadas conduzem a

fissuras na proximidade dos cantos inferiores das janelas. A figura 5.29 apresenta as juntas que se devem efectuar nestas situação, embora sejam de aplicação menos frequente.

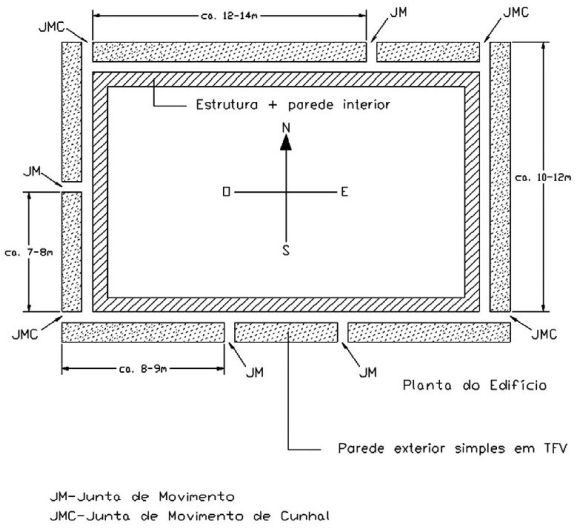



**Fig. 5.27 – Distribuição das juntas de movimento (Camarneiro, 2002).**

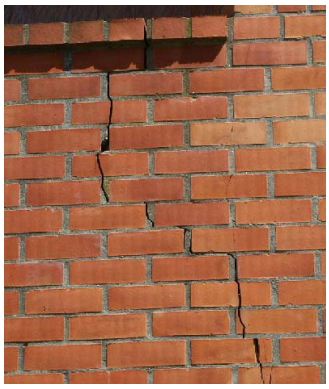


**Fig. 5.28 – Fissura na parte inferior de um vão de janela (Camarneiro, 2002).**

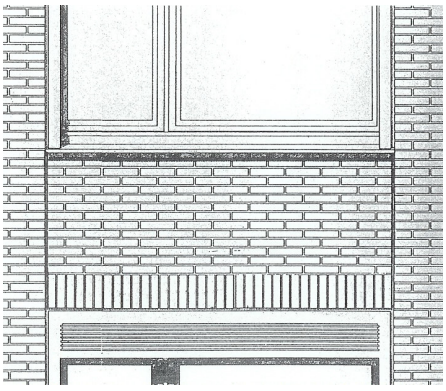


**Fig. 5.29 – Exemplo de aplicação de juntas de dilatação em zona de vão (Klaas, 1993).**

As juntas em cunhais são particularmente problemáticas, por falta de aceitação dos projectistas. Segundo Klaas (1993), os arquitectos consideram que os cunhais executados exclusivamente com tijolo são elementos estilísticos essenciais. O autor sugere que, com a omissão de alguns grampos nas proximidades dos cunhais, pode tentar-se evitar a realização da junta. Esta seria executada a cerca de 1,5 metros do cunhal. Esta medida não pode ser implementada porque a legislação, neste caso Alemã (DIN 1053 [R28]), da qual são tiradas recomendações de aplicação para

Portugal, exige que, em zonas como cunhais, se coloquem 3 grampos por metro linear no seu alinhamento. Camarneiro (2002) afirma que também em Portugal não são muito aceites as juntas de cunhal. Sempre que possível, a ocultação das juntas conduz a fachadas melhores esteticamente. No caso de pequenas habitações, podem aproveitar-se os tubos de queda de drenagem de águas pluviais para ocultar estas juntas.

A execução das juntas é feita deixando o espaço necessário à junta preenchido com peças de madeira, que são retiradas após a execução para que se proceda à colocação do material da junta, que deve ficar reentrante em pelo menos 20 mm, de forma a permitir que se feche a junta com material apropriado que confira a resistência, elasticidade e aderência necessárias às condições daquela zona da fachada. A figura 5.30 mostra as condições dimensionais na execução do fecho da junta. A figura 5.31 mostra como executar a parede, deixando os espaços a preencher pela junta de dilatação vazios. No caso da junta vertical, é muito importante garantir a verticalidade da mesma.

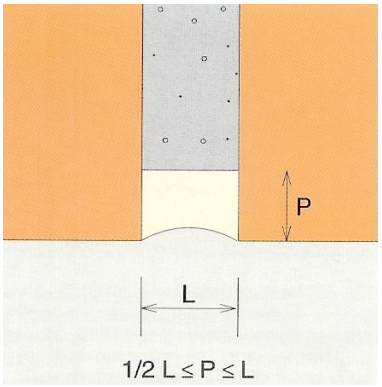



**Fig. 5.30 – Parâmetros dimensionais para o fecho de junta (Brambilla, 2001).**

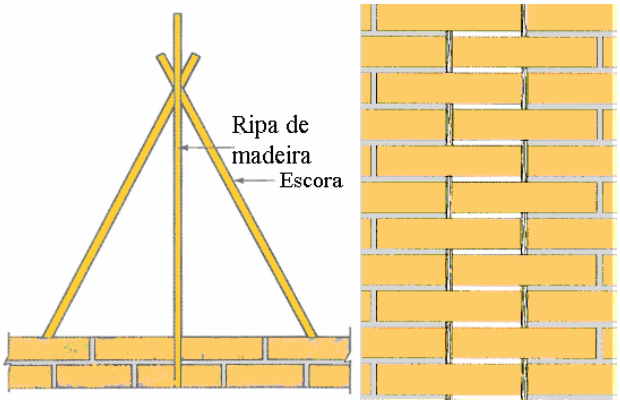



**Fig. 5.31 – Execução de alvenaria em zonas de junta de dilatação (Powell et al, 2005 e Brambilla 2001).**

Pode ser necessária a aplicação de juntas horizontais, mas é menos frequente, sendo aplicadas maioritariamente em alvenaria estrutural (Klaas, 1993). As juntas devem estar sempre sob pressão, apertadas e bem seladas. Estas podem ser pintadas caso a coloração original do material de preenchimento desta não satisfaça as exigências estéticas do edifício.

#### 5.1.1.9 Peças especiais

Na execução de fachadas, são necessárias, para zonas da fachada que apresentam uma maior especificidade, peças cerâmicas com configurações mais ou menos diferenciadas de um tijolo normal. Os vão das aberturas nas fachadas são um exemplo de tais zonas. O mercado Português ainda não tem um leque muito vasto de peças para execução correcta destes pontos na fachada.

Os vãos sobre portas e janelas em Portugal são normalmente efectuados com soluções tradicionais de betão armado revestido com plaquetas cerâmicas, por vezes aproveitando alguma resistência das caixas de estore, ou armando a alvenaria do vão. A forma mais correcta de o fazer é utilizando sistemas de sustentação próprios, com tijolos destinados à aplicação desses sistemas de sustentação. A figura 5.32 apresenta a sequência de execução dos vãos com este sistema. Existem vários tipos de soluções para diferentes aplicações.

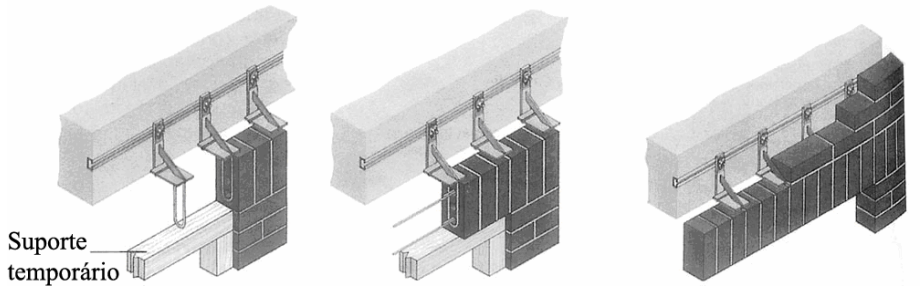



**Fig. 5.32 – Sistema de suspensão para vãos de fachada de TFV (Powell et al, 2005).**

No mercado internacional, há diversas peças cerâmicas com formatos variados, entre as quais se contam os tijolos curvos com diferentes ângulos, tijolos de cantos cortados, com cantos arredondados, de faces oblíquas, entre muitos outros. O mercado Português ainda se encontra um pouco limitado neste aspecto. São comuns apenas peças de forra, semelhantes a plaquetas cerâmicas, mas com garras destinadas ao tipo de aplicação descrito acima.

#### 5.1.1.10 Armaduras

A alvenaria armada é usada correntemente em alvenaria estrutural. A sua aplicação em alvenaria não estrutural vem trazer melhorias no desempenho das

fachadas, conferindo-lhe uma maior resistência face à fissuração. As armaduras devem ser usadas essencialmente em pontos onde se prevêem tensões na alvenaria superiores à resistência esperada da fachada. Esse cenário verifica-se sempre que existem cantos côncavos nesta, ou seja, qualquer abertura poligonal deve ser alvo de reforço com armaduras, bem como descontinuidades ao longo da fachada. Estas zonas coincidem com pontos onde seria desejável a existência de uma junta de dilatação, mas por motivos estéticos não se implementa. Existem ainda zonas que deveriam ter juntas de dilatação, mas por opção do projectista, estas não foram incluídas. Para tentar minimizar os efeitos da ausência da junta, deve também colocar-se armadura (em cunhais, por exemplo). A figura 5.33 apresenta algumas das situações onde se devem utilizar armaduras e a representação das fissuras expectáveis perante a ausência destas.

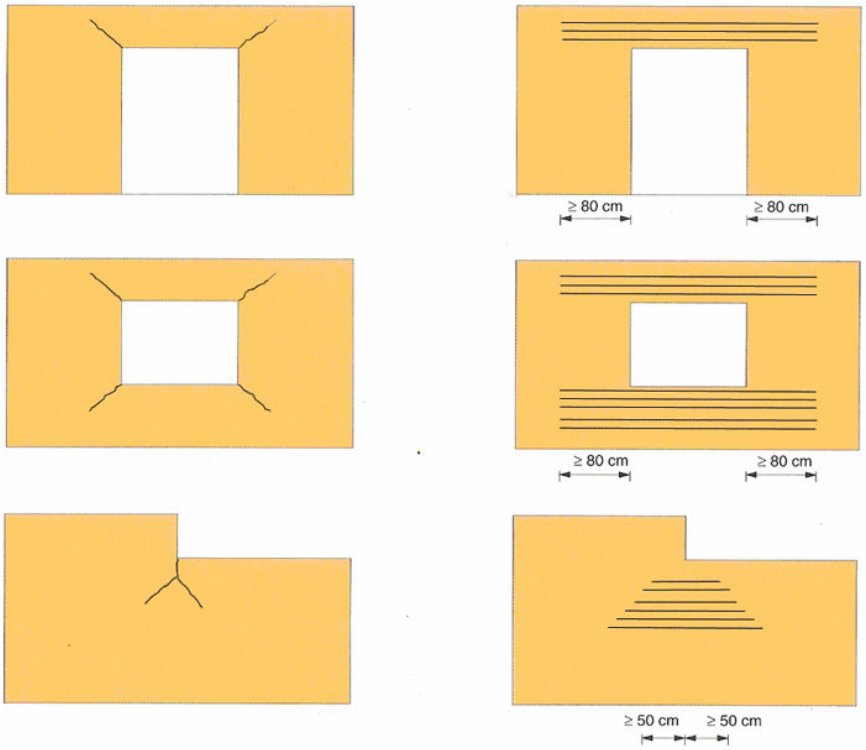



**Fig. 5.33 – Zonas mais susceptíveis de fissuração numa fachada e disposição das respectivas armaduras para o evitar (Brambilla, 2001).**

A sua aplicação deve ser feita no seio das juntas (figura 5.34) obedecendo às regras geométricas indicadas na figura 5.35.

**Fig. 5.34 – Colocação de armadura durante o assentamento do TFV (Murfor, 2005).**

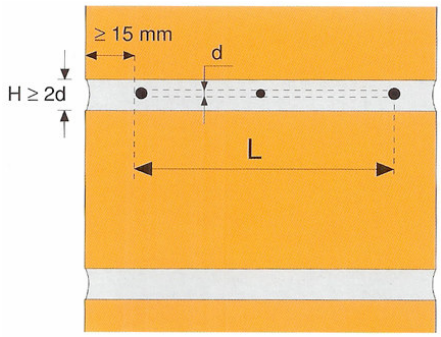



**Fig. 5.35 – Dimensões da armadura face à espessura da junta (Brambilla, 2001).**

As armaduras devem ser em aço zincado ou inox e a argamassa de assentamento não deve ser muito rígida, de forma a não ter um comportamento demasiado frágil, ou seja, não deve conter demasiado cimento. Os empalmes das armaduras não devem ser executados na mesma linha horizontal, mas sim alternando a posição destes em juntas horizontais sucessivas.

#### 5.1.1.11 Impermeabilização na base das paredes

As humidades ascensionais podem provocar muitos problemas no correcto desempenho das fachadas. Na aplicação de TFV, deve garantir-se a impermeabilização da parede, relativamente ao solo e fundações. Pode efectuar-se de duas formas. Podem colocar-se membranas (figura 5.36) especialmente destinadas à aplicação no seio de uma junta horizontal do TFV, nunca a menos de 15 cm acima do nível do solo, ou podem utilizar-se tijolos específicos para essa função, aplicados em duas fiadas com argamassa rica em cimento, que oferecem também uma barreira eficaz às humidades ascensionais. As membranas devem ser colocadas de forma cuidada, ocupando a totalidade da junta, sobre uma primeira camada de argamassa. Recomenda-se a passagem com um tijolo sobre a membrana, à medida que se vai desenrolando, de forma a promover uma melhor aderência à argamassa. Sobre a membrana, é colocada uma segunda camada de argamassa. Após este procedimento, o assentamento do TFV é executado normalmente. Sempre que forem necessários empalmes de membrana, estes devem ser de 10 cm (Brambilla, 2001). A aplicação incorrecta da membrana pode provocar fissuras nas juntas (figura 5.37c) ou retenção

de argamassa no interior da caixa-de-ar (figura 5.37a), com a grave consequência de poder gerar pontes de humidade.

**Fig. 5.36 – Membrana DCP - *Damp-proof courses* (Brambilla, 2001).**

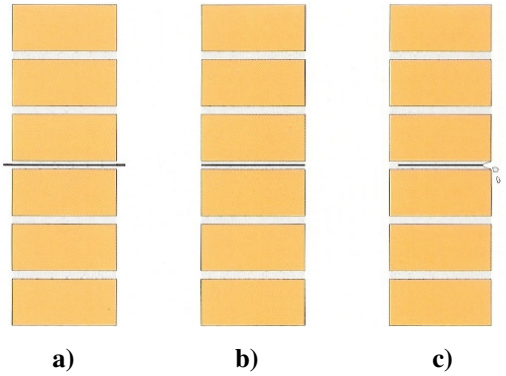



**Fig. 5.37 – Aplicação errada (a e c) e aplicação correcta (b) da membrana (Brambilla, 2001).**

No caso de terraços, pode efectuar-se uma aplicação de membrana contínua, como mostra a figura 5.38 e 5.39. É preciso ter em conta que, em aplicações como a da figura 5.38, o tijolo deve ter uma zona de apoio na estrutura resistente, no mínimo, de 2/3 da sua base. Todo este procedimento não dispensa a impermeabilização das fundações, nem a impermeabilização da base do pano interior de alvenaria.

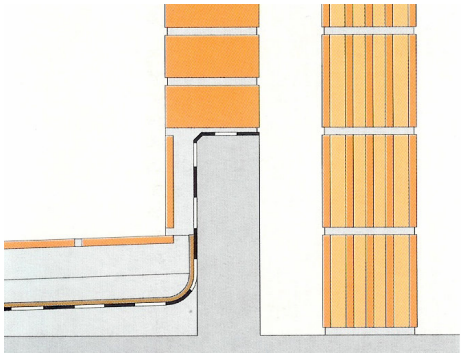


**Fig. 5.38 – Exemplo de impermeabilização sem saliência na parede (Brambilla, 2001).**

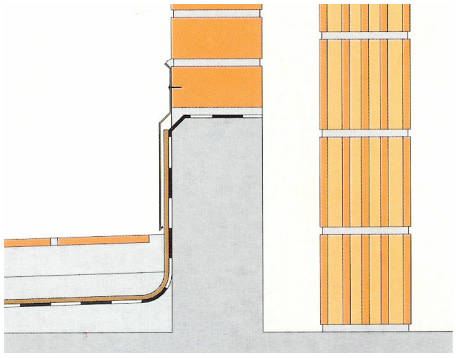


**Fig. 5.39 – Exemplo de impermeabilização com saliência na parede (Brambilla, 2001).**

### 5.1.1.12 Impermeabilização nas aberturas da fachada

O mesmo tipo de membranas referido no ponto anterior deve ser utilizado nas aberturas da fachada, como janelas ou portas. A estrutura de janelas e portas deve

sempre ser fixa ao pano interior de parede. Dependendo do tipo de solução utilizada, os topos TFV exteriores ficarão mais ou menos cobertos. Independentemente da percentagem que venha a estar protegida, ficará sempre uma parte sujeita à humidade exterior que terá uma ligação ao pano interior. Esta zona, dependendo da sua execução, pode conduzir a uma ponte de humidade, especialmente se a ligação for efectuada com argamassa. A aplicação de uma membrana impermeável no interior da caixa-de-ar, contra a parede exterior, garante a quebra dessa ponte de humidade. Também na parte superior e inferior devem ser aplicadas membranas, como é visível nas figuras 5.40 e 5.41. Existem outras formas de contornar este problema das pontes de humidade nos vãos, mas devem passar sempre pela impermeabilização da ligação entre o pano exterior e interior. Não é comum em Portugal a aplicação deste tipo de membranas.

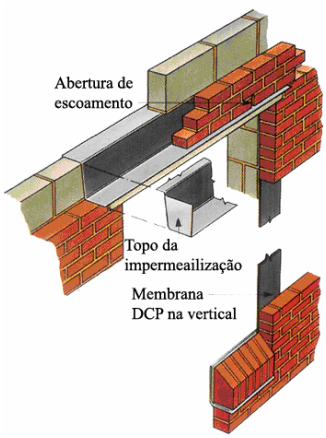



**Fig. 5.40 – Solução de impermeabilização de vão (Brambilla, 2001).**

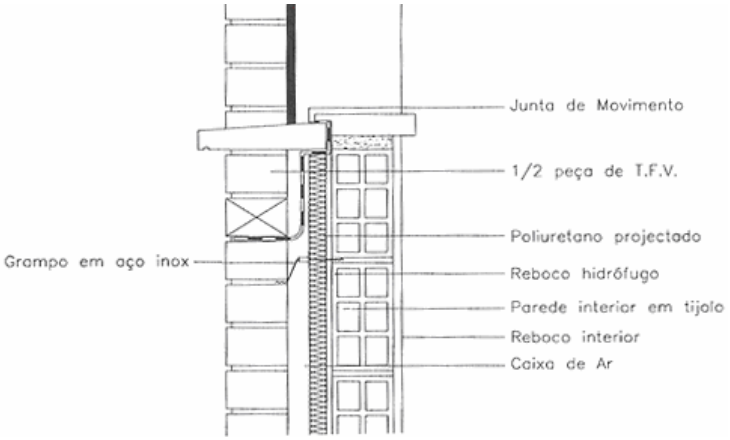



**Fig. 5.41 – Solução de impermeabilização para zona do peitoril (Manual, 2006).**

### 5.1.1.13 Acabamento

A manutenção da limpeza da fachada ao longo da execução desta é essencial para garantir um bom acabamento final. A cada 6 ou 7 fiadas executadas, deve fazer uma primeira limpeza da face do tijolo com uma escova e nunca com esfregões metálicos ou esponjas húmidas. No final, deve lavar-se toda a fachada, quando a argamassa das juntas já estiver seca, com água corrente em abundância sob pressão. É muitas vezes necessário utilizar produtos de limpeza específicos para fachadas de

TFV, após um prévio humedecimento desta, completando o procedimento também com água sob pressão em abundância de forma a remover por completo o produto de limpeza. Deve ensaiar-se a pressão a utilizar na limpeza das fachadas de forma a garantir a preservação das juntas. Não se deve utilizar ácido clorídrico por atacar a argamassa das juntas e o ácido nítrico só deve ser utilizado quando houver garantias de que este não oxida os tijolos da fachada, alterando-lhes a cor. A acção de limpeza deve começar sempre de cima para baixo.

Quando a fachada se encontrar limpa e seca, pode melhorar-se a sua estanquidade com a aplicação de um hidrorrepelente específico para TFV, estável e duradouro. Este deve ser aplicado segundo as instruções do fabricante e não deve provocar manchas por escorrimento, não deve ser impermeável ao vapor de água, nem gorduroso. Existem ainda produtos para aplicar nos primeiros 2,5 metros de fachada que minimizam as consequências de eventuais actos de vandalismo, como pinturas.

#### 5.1.1.14 Fachadas ventiladas

O TFV é uma solução que permite uma aplicação de fachada ventilada. A fachada ventilada é um sistema que procura optimizar o desempenho higrotérmico das fachadas e com uma crescente aceitação do mercado nacional. Existem muitos acessórios que permitem a execução deste tipo de fachada (figura 5.42 e 5.43).

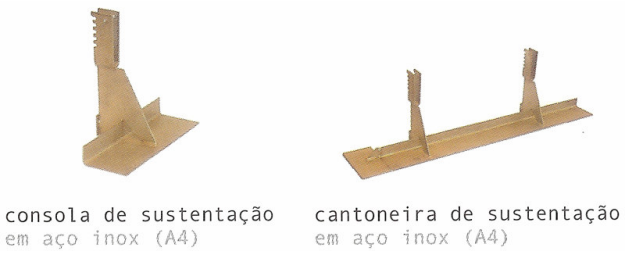



**Fig. 5.42 – Exemplo de sistemas de sustentação comercializados em Portugal (Manual, 2006).**

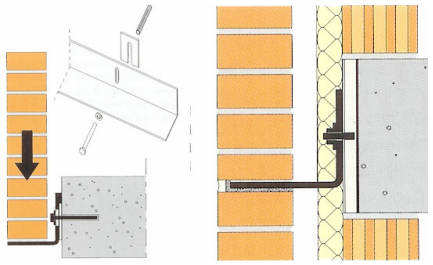


**Fig. 5.43 – Sistemas de fixação na base e a meio da fachada (Brambilla, 2001).**

Estes sistemas de suporte das fachadas, em conjunto com as disposições construtivas descritas nos pontos anteriores, permitem a realização deste tipo de solução de fachada. Os acessórios devem ser utilizados em edifícios altos, ao nível dos vários pisos, independentemente do nível de ventilação da fachada. Têm como

função descarregar parte das tensões que os tijolos situados em cotas mais baixas da fachada suportam, devido ao peso próprio da parede. Deve ser efectuado um cálculo estrutural rigoroso para determinar a quantidade e disposição destes dispositivos.

#### 5.1.1.15 Notas finais

A descrição técnica efectuada relativamente à execução das fachadas de TFV não foi exaustiva. Foram focados aspectos considerados mais relevantes, mas não todos os aspectos a ter em conta na execução de fachadas de TFV. Existem alternativas à solução de parede dupla de TFV apresentada. As recomendações foram feitas com base em técnicas utilizadas em vários países, não constituindo regras ou normas de carácter mundial, ou mesmo europeu. Este subcapítulo teve por objectivo alertar para as singularidades deste tipo de fachadas, relativamente às fachadas de TF executadas convencionalmente em Portugal.

## 5.2 Rendimentos de execução

O TFV é, em conjunto com o tijolo maciço, o menor dos elementos cerâmicos, em volume aparente, para a produção de alvenaria. O número de tijolos e quantidade de argamassa a utilizar por metro quadrado de alvenaria varia de forma inversa à dimensão dos elementos, admitindo juntas e paredes com igual espessura. Quando se discutem rendimentos de execução, é preciso ter em conta que, no caso das soluções tradicionais de alvenaria, existe a necessidade de aplicar revestimentos. Por conseguinte, não é imediato qual das duas soluções conduz a melhores rendimentos de trabalho.

Com base nas fichas de rendimentos do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Manso, Fonseca e Espada, 2007), analisa-se, nos subcapítulos seguintes, os rendimentos de trabalho de uma solução de parede dupla de TF de 15 centímetros de espessura no pano interior e 11 centímetros de espessura no pano exterior (solução de TF) comparativamente com um solução de parede dupla com o pano interior em TF

de 15 centímetros de espessura e o pano exterior em TFV de 11 centímetros de espessura (solução de TFV).

### 5.2.1 Pressupostos assumidos

Segundo a APICER, poucas empresas produzem em Portugal TFV (apenas 5), o que faz com que exista uma certa divisão no sector de produção de TFV e TF. Análises feitas junto de empresas de cada sector são susceptíveis de originar enviesamento nos resultados. As fichas de rendimentos do LNEC, apesar de apresentarem pouca especificidade e muitos valores desactualizados, são uma opção viável para um estudo comparativo.

Admite-se que o material "tijolo perfurado de 20 x 11 x 7 cm com 11 cm de espessura", que consta na ficha "IC – 448" das fichas de rendimentos anteriormente referidas, é TFV e na sua execução estão considerados todos os cuidados de acabamento das respectivas fachadas à vista.

Admite-se que a ficha "IC – 1564", da mesma documentação, inclui todos os trabalhos de pintura necessários ao acabamento de uma fachada exterior rebocada de um edifício.

### 5.2.2 Metodologia de cálculo

As fichas de rendimentos do LNEC contêm informação relativa ao número de homens hora necessários para executar uma unidade da respectiva tarefa. Neste caso de estudo, todas as tarefas associadas à execução das duas soluções de alvenaria são contabilizadas em metros quadrados. A soma de todos os homens/hora, de cada especialidade, necessários para executar a totalidade de tarefas que compõem a execução da respectiva solução de alvenaria, indica o número de homens hora necessários para executar um metro quadrado desta.

Dadas as diferentes proporções de elementos em cada equipa necessária para executar cada uma das soluções, a comparação não é feita em termos de rendimentos

de equipas, mas sim de número de homens/hora de cada especialidade necessários para executar um metro quadrado de cada uma das soluções.

### 5.2.3 Solução de TFV

São as seguintes as fichas utilizadas, cujos dados se encontram resumidos no quadro 5.5:

- IC-448: "Alvenaria dupla de tijolo com panos de tijolos perfurado de 20 x 11 x 7 cm com 11 cm de espessura e 30 x 20 x 15 com 15 cm de espessura, assentes com argamassas de cimento e areia ao traço 1:5":
- IC-965: "Isolamento térmico na caixa-de-ar de paredes duplas, com poliestireno expandido extrudido moldado em placas de 30 mm de espessura";
- IC-1869: "Esboço e estuque branco "liso" c/ pintura plástica incluindo camada de base em reboco desempenado à régua no revestimento de paredes interiores".

**Quadro 5.5 – Necessidades de recursos humanos por hora para a realização de 1 m$^2$ de alvenaria de TFV.**

| Recurso | IC-448 | IC-965 | IC-1869 | Total |
|---|---|---|---|---|
| Pedreiro [un/h] | 2,15 | 0,1 | 0 | 2,25 |
| Servente [un/h] | 2,1 | 0,1 | 0,375 | 2,575 |
| Estucador [un/h] | 0 | 0 | 0,75 | 0,75 |
| Pintor [un/h] | 0 | 0 | 0,3 | 0,3 |

### 5.2.4 Solução de TF

São as seguintes as fichas utilizadas, para além da IC-965 e IC-1869, já descritas e cujos dados se encontram resumidos no quadro 5.6:

- IC-433: "Alvenaria dupla de tijolo com panos de tijolos furados de 30 x 20 x 11 cm com 11 cm de espessura e 30 x 20 x 15 com 15 cm de espessura, assentes com argamassas de cimento e areia ao traço 1:5";

- IC-1655: "Salpisco, emboço e reboco afagado com argamassa de cimento e areia ao traço 1:4 incluindo impermeabilizante em paredes exteriores";
- IC-1564: "Revestimentos em paredes - pintura sobre reboco com acabamento à talocha com tinta impermeabilizante à base de emulsões aquosas de base elástica".

**Quadro 5.6 – Necessidades de recursos humanos por hora para a realização de 1 m$^2$ de alvenaria de TF.**

| Recurso | IC-433 | IC-1655 | IC-1564 | IC-965 | IC-1869 | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pedreiro [un/h] | 1,42 | 0,8 | 0 | 0,1 | 0 | 2,32 |
| Servente [un/h] | 1,3 | 0,4 | 0,03 | 0,1 | 0,375 | 2,205 |
| Estucador [un/h] | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,75 | 0,75 |
| Pintor [un/h] | 0 | 0 | 0,28 | 0 | 0,3 | 0,58 |

### 5.2.5 Análise de resultados

O quadro 5.7 apresenta os resultados finais de cada recurso necessário para cada solução e as diferenças em percentagem.

**Quadro 5.7 – Análise de resultados entre o consumo de recursos humanos para a realização de 1 m$^2$ de alvenaria em TFV e TF.**

| Recurso | TFV | | TF | Diferença [%] |
|---|---|---|---|---|
| Pedreiro [un/h] | 2,250 | < | 2,320 | 3,02 % |
| Servente [un/h] | 2,575 | > | 2,205 | -16,78 % |
| Estucador [un/h] | 0,750 | = | 0,750 | 0,00 % |
| Pintor [un/h] | 0,300 | < | 0,580 | 48,28 % |

Apesar dos menores rendimentos de execução no assentamento dos panos de alvenaria de TFV, os resultados mostram que as duas soluções necessitam, aproximadamente, do mesmo número de elementos para realizar um metro quadrado de alvenaria acabada, sendo a diferença inferior a 0,5%. As diferenças mais notórias ocorrem relativamente ao número de serventes e pintores. Uma solução de TF necessita sensivelmente do dobro dos pintores necessários à realização de uma

solução de TFV. Esta diferença é compensada pelo maior número de serventes necessários para efectuar a solução de TFV.

É preciso ter em conta que o pano de alvenaria exterior de TFV fica completo após a sua aplicação, não sendo necessárias estruturas de apoio, como os andaimes, e no caso do TF são necessárias várias intervenções em fases diferentes da obra, factores estes que não foram considerados na análise feita e que beneficiam também a solução de TFV.

## 5.3 Exigências funcionais e regulamentares de paredes de TFV

As exigências funcionais das paredes de alvenaria para uma dada aplicação devem ser o principal motor de decisão da solução a aplicar. De uma forma geral as exigências funcionais de uma parede de alvenaria dependem do uso do edifício, das restantes soluções construtivas e da sua localização. Podem enquadrar-se em três grandes grupos (Brito e Correia, 2003):

- exigências de segurança;
- exigências de saúde e conforto;
- exigências de economia.

São de seguida descritos com maior pormenor os referidos grupos, aplicados a paredes duplas com pano exterior em TFV.

### 5.3.1 Exigências de segurança

#### 5.3.1.1 Segurança estrutural

Uma parede de alvenaria deve estar preparada para suportar todas as cargas a que poderá vir a estar sujeita: cargas permanentes, sobrecargas de utilização, vento, acções térmicas e acções acidentais (Brito e Correia, 2003).

A alvenaria em Portugal é maioritariamente de enchimento, sendo as exigências estruturais no caso do TFV idênticas às de TF, com a diferença de os primeiros

conduzirem a um maior peso próprio da parede. No caso de o pano interior ser estrutural e o exterior de enchimento, estas exigências diferem. O pano interior será dimensionado para absorver as cargas permanentes e sobrecargas de utilização, enquanto que o pano exterior de TFV manterá a sua função de pano exterior de enchimento que apenas deve suportar as solicitações que actuam sobre esta.

Um pano de TFV, quando correctamente aplicado, tem ligações ao pano interior, fazendo com que os esforços perpendiculares ao plano da alvenaria sejam absorvidos em conjunto pelos dois panos. Entre estas acções destaca-se o vento e as acções acidentais. As acções acidentais podem ser mais localizadas e de maior intensidade, o que poderá conduzir a solicitações diferenciadas nos dois panos.

As acções térmicas actuam de forma muito mais intensa no pano exterior de TFV, que não tem qualquer tipo de revestimento e está exposto directamente às condições atmosféricas, sofrendo grandes variações térmicas.

A principal diferença entre exigências de uma parede dupla com pano exterior em TFV e uma parede de dois panos de TF é a diferença de solicitações existente entre os dois panos da primeira solução.

Questões relativas à aplicação de alvenaria estrutural serão analisadas no capítulo 6.

#### 5.3.1.2 Segurança ao fogo

A segurança dos edifícios relativamente ao fogo é caracterizada com base nos materiais utilizados e nas medidas implementadas nos edifícios para dificultar a propagação dos incêndios, facilitar a evacuação dos utentes do edifícios e facilitar a acção das equipas de combate a incêndios. O rigor das medidas a implementar num edifício varia com a tipologia deste e, no caso específico das paredes, a localização e função que desempenham. O R.S.C.I.E.H. – Regulamento de Segurança contra Riscos de Incêndio em Edifícios de Habitação – DL 64/90 [R29], no artigo 5.º do capítulo II descreve os aspectos a ter em conta em paredes exteriores de edifícios: “a caracterização das paredes exteriores face ao fogo deve ser feita em termos do risco de propagação do incêndio entre pisos sucessivos e ter em conta, nomeadamente, a

constituição das paredes, as suas ligações aos pavimentos, a disposição dos vãos nelas praticados e a eventual existência de elementos salientes ao plano da parede.".

O referido regulamento prevê três tipos de classificação de materiais e elementos:

- Reacção ao fogo (materiais):
  - classe M0 – materiais não combustíveis (TFV);
  - classe M1 – materiais não inflamáveis;
  - classe M2 – materiais dificilmente inflamáveis;
  - classe M3 – materiais moderadamente inflamáveis;
  - classe M4 – materiais facilmente inflamáveis.

- Resistência ao fogo (elementos de construção:
  - classes EF – estabilidade ao fogo;
  - classes PC – pára-chamas;
  - classes CF – corta-fogo.

No quadro 5.8, é possível verificar que as exigências mínimas de espessura de paredes de TFV (designadas como tijolo maciço ou perfurado sem reboco) não diferem muito das de paredes de TF (designadas como tijolo furado com reboco). Com base em espessuras mínimas das paredes, a tabela indica que, em alvenaria não estrutural, o TFV apresenta um desempenho ligeiramente superior (CF 120) e em paredes estruturais, o TF tem um desempenho superior ao do TFV (CF 90), embora também ligeiramente.

**Quadro 5.8 – Espessura mínima de paredes face às exigências contra incêndios (adaptado de Silva et al, 2000).**

| | **Espessura mínima de paredes de alvenaria (cm)** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Não estruturais** | | | | | **Estruturais** | | | | |
| | CF 30 | CF 60 | CF 90 | CF 120 | CF 180 | CF 30 | CF 60 | CF 90 | CF 120 | CF 180 |
| **Tijolo maciço ou perfurado sem reboco** | 7 | 7 | 11 | 11 | 22 | 11 | 11 | 22 | 22 | 22 |
| **Tijolo furado com reboco (e = 15 mm)** | 7 | 7 | 11 | 15 | 22 | 11 | 11 | 15 | 22 | 22 |

### 5.3.2 Exigências de saúde e conforto

A qualidade do ar, a preservação do espaço e o conforto térmico no interior das habitações são os requisitos das paredes nos quais as exteriores desempenham um papel preponderante. Estas devem contribuir para a manutenção da temperatura no interior das habitações com o mínimo consumo energético e garantir que não ocorrem condensações no interior das paredes que deteriorem a qualidade do ar e afectem a durabilidade dos elementos construtivos. As paredes de TFV em análise apresentam um comportamento semelhante às paredes convencionais de TF. O novo R.C.C.T.E. – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, (em vigor desde Julho de 2006) é mais rigoroso do que o regulamente que o precedeu. As paredes convencionais de pano duplo de TF com isolamento térmico no interior deixam de cumprir novas exigências como a de "nenhuma zona de qualquer elemento opaco da envolvente, incluindo zonas de ponte térmica plana, nomeadamente pilares, vigas, caixas de estore, pode ter um valor de U (coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente em $W/m^2.ºC$), calculado de forma unidimensional na direcção normal à envolvente, superior ao dobro do dos elementos homólogos (verticais ou horizontais) em zona corrente" [R30]. Elementos como vigas ou pilares necessitam de cuidados especiais para cumprir esta nova exigência face ao baixo valor de U das paredes tradicionais, fruto da utilização generalizada de isolamento térmico. Terão de ser encontradas alternativas construtivas, que passarão inevitavelmente por uma melhoria do desempenho térmico dos elementos estruturais das fachadas. Paredes em TFV não apresentam qualquer problema face a este novo requisito pois o isolamento é colocado de forma contínua em toda a fachada do edifício. Esta aplicação de isolamento de forma contínua permite ainda dar resposta a grande parte das pontes térmicas existentes nas fachadas. Na figura 5.44, estão representadas algumas das pontes térmicas mais comuns. Estas passaram também a ser alvo de especial atenção neste novo regulamento. O TFV é um material com piores propriedades térmicas quando analisado de forma singular. O quadro 5.10 apresente os valores para os elementos de alvenaria isoladamente. O quadro 5.9 permite verificar que, na solução apresentada, o TFV representa uma diminuição de menos de 5% no coeficiente de transmissão térmica da parede, 0,025 $W/m^2.ºC$. As vantagens que oferece na diminuição das pontes térmicas torna ainda menos relevante esta diferença. Perante a

semelhança de desempenho das duas soluções, os problemas de condensações interiores ou intersticiais podem ser abordadas da mesma forma.

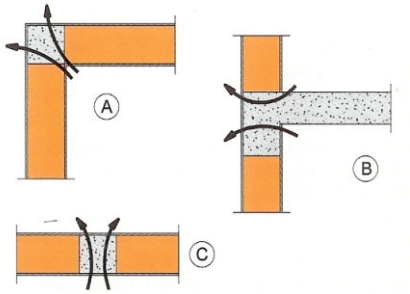



**Fig. 5.44 – Exemplos de pontes térmicas (Corvacho, 1999).**

**Quadro 5.9 – Resistências térmicas [$m^2$.ºC/W] de paredes simples de alvenaria de tijolo (adaptado de Paiva e Santos, 1990).**

| Tipo de tijolo | Espessura da alvenaria (cm) | |
|---|---|---|
| | 7 | 11 |
| Vazado (normal) | 0,15 | 0,21 |
| Perfurado | - | 0,15 |
| Maciço | 0,11 | 0,14 |

**Quadro 5.10 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica de duas soluções de alvenaria (TF e TFV), com base no R.C.C.T.E. [R4].**

| **Solução de TF** | |
|---|---|
| **Materiais** | **R ($m^2$ºC/W)** |
| Estuque tradicional | 0,0125 |
| Reboco interior | 0,0130 |
| TF (7 cm) | 0,1500 |
| *Wallmate* cw-A (3 cm) | 1,0714 |
| Caixa-de-ar (5 cm) | 0,1800 |
| TF (11 cm) | 0,2100 |
| Reboco exterior | 0,0174 |
| Rse* | 0,0400 |
| **U (W/$m^2$.ºC)** | **0,5902** |

| **Solução de TFV** | |
|---|---|
| **Materiais** | **R ($m^2$ºC/W)** |
| Estuque tradicional | 0,0125 |
| Reboco interior | 0,0130 |
| TF (7 cm) | 0,1500 |
| *Wallmate* cw-A (3 cm) | 1,0714 |
| Caixa de ar (5 cm) | 0,1800 |
| Tijolo perfurado (11 cm) | 0,15 |
| Reboco exterior | - |
| Rse | 0,04 |
| **U (W/$m^2$.ºC)** | **0,6184** |

*** Resistência térmica superficial exterior.**

#### 5.3.2.1 Conforto acústico

As paredes exteriores dos edifícios representam a maior barreira ao ruído exterior. O ruído exterior é na maioria das vezes inevitável, sendo de extrema importância para a qualidade de vida dos utentes dos edifícios um isolamento eficaz. O R.G.R – Regulamento Geral sobre o Ruído [R31] define zonas com diferentes níveis de ruído que conduzem a diferentes necessidades de isolamento, também influenciadas pelos diferentes usos dos edifícios.

Apenas ensaios efectuados ao TFV e ao TF permitiriam afirmar qual dos dois terá um melhor desempenho. Segundo a lei da massa, o TFV seria um material mais isolante pela sua maior massa por unidade de área de fachada. No entanto, a massa das argamassas de reboco contribuem para o isolamento da solução de TF. A configuração dos vazios do tijolo utilizada também contribui para o desempenho acústico do tijolo. O tijolo perfurado permite uma maior flexibilidade nesta área (diferentes configuração de furação). A figura 5.45 mostra alguns tijolos com desempenhos acústicos melhorados.

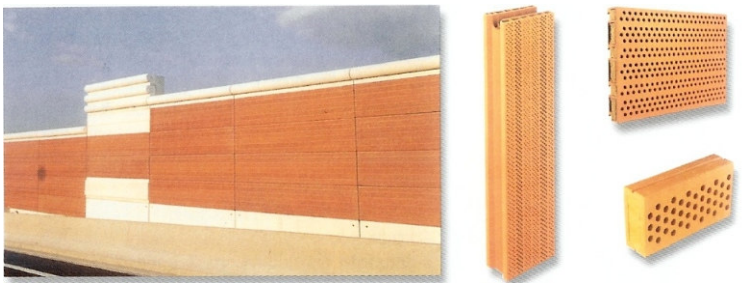


**Fig. 5.45 – Tijolo com elevada absorção acústica (Silva et al, 2000).**

É importante ter em conta que as maiores preocupações com o desempenho acústico das fachadas não advêm da alvenaria, mas sim dos envidraçados. O índice de isolamento acústico de uma fachada é maioritariamente condicionado pelo índice de isolamento acústico do seu elemento com pior desempenho, normalmente as áreas de envidraçado.

#### 5.3.2.2 Estanquidade

A estanquidade das habitações é garantida pela envolvente do edifício, relativamente ao espaço circundante, superior e inferior (solo). As paredes devem garantir que não existe penetração de água do exterior para o interior do edifício, bem como da humidade proveniente de condensações internas das paredes. Paredes junto ao solo devem também garantir um comportamento eficaz face às humidades ascensionais, por capilaridade. O comportamento eficaz passa pela eficaz expulsão da humidade para o exterior do edifício, sem permitir que esta afecte o eficaz desempenho de todos os elementos do edifício.

O TFV em pano exterior simples tem desvantagem relativamente a um pano exterior de alvenaria de TF, rebocado e pintado. Ambas as paredes são permeáveis, mas a parede de TFV não possui a primeira barreira exterior composta pela tinta (ou outro revestimento) e reboco. Segundo Luís Camarneiro, a função de promover a estanquidade das habitações é muitas vezes efectuada pela superfície externa no pano interior de alvenaria, sendo o pano interior uma importante barreira, mas claramente insuficiente. A drenagem da água, sob a forma de vapor ou no estado liquido, deve ser feita por intermédio de aberturas e caleiras junto à base da parede, que também promovem a ventilação da caixa-de-ar. Esta ventilação, no entanto, deve ser tal que não comprometa o desempenho térmico das paredes.

#### 5.3.2.3 Conforto visual e táctil

A alvenaria utilizada no exterior ou no interior deve ter uma aparência esteticamente agradável. Construída com tijolos cerâmicos de aspecto estético cuidado, livres de imperfeições, segundo um padrão de execução exigente e acabamento de juntas com argamassa apropriada ao tipo de unidade de alvenaria. As paredes devem apresentar linhas regulares, sejam elas curvas ou rectas. As arestas e superfícies devem estar livres de imperfeições perceptíveis ao toque ou à visão. As paredes devem também estar livres de eflorescências e outras deposições de material proveniente do seio das paredes ou da aplicação deste. Muito mais que no caso do TF,

é preciso um processo selectivo quando se efectua a aplicação em obra. Um tijolo defeituoso pode comprometer o acabamento de toda uma fachada.

#### 5.3.2.4 Durabilidade

Qualquer elemento construtivo deve estar preparado para resistir, com as propriedades anteriormente referidas, durante o tempo para o qual foi dimensionado. No caso das paredes de alvenaria, estas devem estar preparadas para resistir a todos os agentes agressivos exteriores, sejam eles abrasivos, químicos, biológicos ou de origem climática. O TFV é uma solução que já deixou muitas provas ao longo da história da Humanidade relativamente à sua durabilidade. É uma das mais valias da solução e está dependente apenas de um correcto projecto e execução das paredes.

### 5.3.3 Exigências de economia

Todos os factores anteriores contribuem para tornar uma solução de alvenaria numa solução económica, desde que este seja uma solução financeiramente competitiva. Essa competitividade deve ser analisada em termos de custos iniciais, de exploração e manutenção.

# 6 TFV e a alvenaria estrutural

Devido à pouca utilização do TFV em Portugal, este é muitas vezes associado ao tijolo maciço, vulgarmente conhecido por "tijolo burro". O TFV pode ser maciço, com furação horizontal ou vertical. Todos eles estão classificados na NP EN 771-1:2006 como tijolos HD. O tijolo maciço foi utilizado durante o século XX na construção de alvenaria com funções estruturais, antes da sua progressiva transição para elementos de enchimento classificados actualmente na referida norma como tijolos LD. Nas últimas décadas, deixou de se utilizar o tijolo maciço em fachadas de edifícios em Portugal, nunca tendo expressão enquanto TFV.

Segundo Luís Camarneiro, a utilização de TFV maciço em fachadas de edifícios é feita em casos pontuais, quando os projectistas assim o exigem. A associação do TFV com o "tijolo burro" faz com que se assuma que este desempenha funções estruturais, como no passado, uma ideia errada. O tijolo maciço pode ser aplicado como alvenaria tradicional à vista (figura 6.1), frequentemente com funções estruturais, ou com capacidade para tal, mas tornou-se mais comum (nomeadamente no Reino Unido, segundo Andrew Smith) a execução de paredes de alvenaria com um pano interior estrutural em blocos de betão, ou outro tipo de estrutura e um pano exterior em TFV, sem funções estruturais, como exemplifica a figura 6.2. Em Portugal, os blocos de betão também são utilizados para alvenaria estrutural (por exemplo, a esquadra da GNR de Ourique (Lourenço, 2002)), pelo que esta parece ser a alternativa mais viável de execução de alvenaria estrutural em TFV em Portugal. São apresentados exemplos de algumas possibilidades de construção de alvenaria estrutural nas figuras 6.1 a 6.4, nas quais se incluem alvenarias armadas e soluções mistas de alvenaria, betão e armaduras, pois "a parede resistente de alvenaria é um componente estrutural contínuo vertical, rectilíneo ou curvilíneo, constituído pela solidarização, por meio de um ligante (argamassa), de um conjunto de elementos resistentes (unidades de alvenaria) e que podem integrar elementos de reforço de outra natureza (varões metálicos, ligadores ou outros)" (Lourenço, 2004). A diferença entre uma alvenaria de enchimento e uma estrutural está no seu contributo para a resistência da construção, caso seja significativa, tendo para isso que ser desenvolvidas metodologias de cálculo fiáveis. Apresenta-se ainda na figura 6.5 um exemplo de

aplicação de TFV perfurado autoportante em Portugal e, na figura 6.6, uma representação esquemática dos principais elementos resistentes numa construção em alvenaria estrutural.

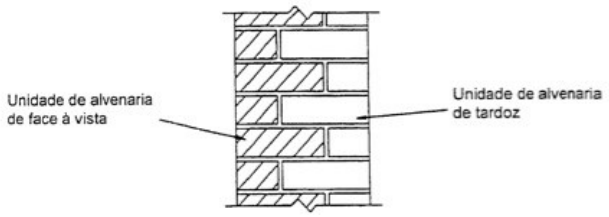



**Fig. 6.1 – Exemplo de secção transversal de uma parede de face à vista (EC6).**

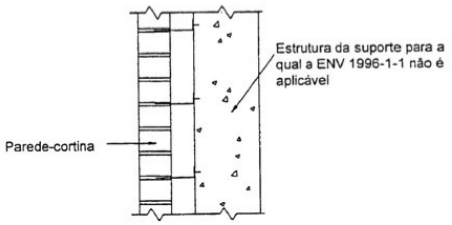



**Fig. 6.2 – Exemplo de secção transversal de uma parede-cortina (EC6).**

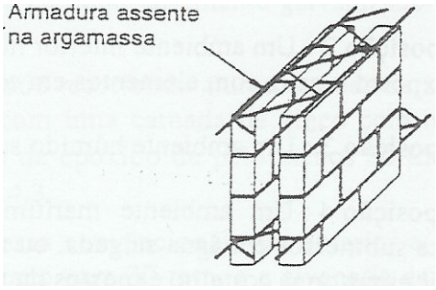



**Fig. 6.3 – Parede com armadura pré-fabricadas colocadas nas juntas de assentamento (EC6).**

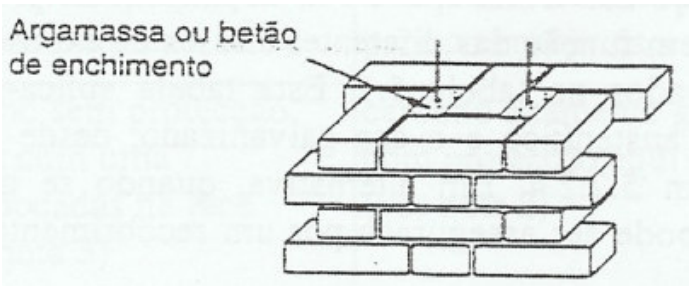



**Fig. 6.4 – Parede com armaduras colocadas em pilares embebidos resultantes da forma de assentamento das unidades (EC6).**

**Fig. 6.5 – Parede de alvenaria resistente em Esgueira, Aveiro.**

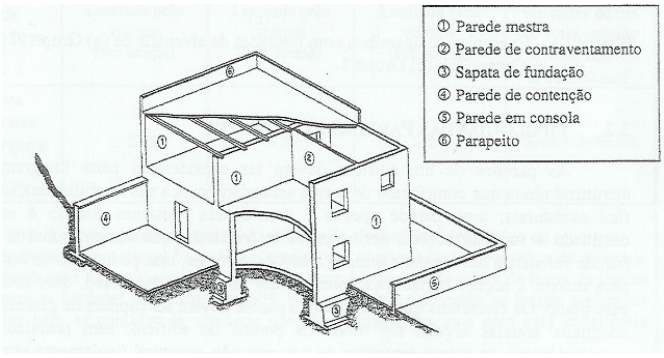



**Fig. 6.6 – Tipologia das paredes em função dos fins a que se destinam (Lourenço, 2004).**

## 6.1 Eurocódigos

Antes do aparecimento dos Eurocódigos, as estruturas de alvenaria em Portugal eram dimensionados através de métodos empírico-intuitivos (Lourenço, 2002). Actualmente, para realizar um projecto de estruturas de alvenaria, para além do Eurocódigo 6, é necessário ter em consideração o Eurocódigo 8 [32] para determinação da acção sísmica que actua nos edifícios e os requisitos dos mesmos face à acção. O capítulo 9 do EC8 "é dedicado a regras específicas para edifícios de alvenaria. Neste eurocódigo existem 61 NDPs, (Nationally Determined Parameters) sendo 15 relacionados com os edifícios de alvenaria (ou seja 25% dos NDPs em apenas 4% das páginas). Esta constatação indica claramente a dificuldade em gerar consensos sobre o comportamento das estruturas de alvenaria em zonas sísmicas" (Lourenço, 2006). Sendo Portugal uma zona com elevado risco de sismicidade, a viabilidade da construção de estruturas de alvenaria está dependente do rigor da versão Portuguesa da EN 1998-1:2004. As características resistentes de estruturas de alvenaria por si só poderão vir a não ser suficientes para satisfazer um regulamento sísmico demasiado exigente.

## 6.2 Panorama mundial

Existem países que utilizam alvenaria estrutural e países que não o fazem. Existem países nos quais o uso de TFV é comum e outros em que não é. Grosso modo, da intersecção do primeiro e do terceiro grupo referido resultam os países que usam TFV estrutural. Será por isso feita uma análise mais direccionada para referências que documentem a utilização de alvenaria estrutural, em países onde é comum a utilização do TFV.

Segundo Piers (1993), no Sul da Europa, a resistência dos edifícios à acção sísmica é uma prioridade, fazendo com que a alvenaria não tenha funções estruturais, mas apenas de panos de enchimento em estruturas reticuladas de betão. Este autor aponta a Suíça e a Áustria como excepções e Lourenço (2006) acrescenta mais dois países adjacentes aos apontados, a Alemanha com 50% e a Itália com 30% do mercado da construção em alvenaria estrutural, respectivamente. Com base em dados

do National Earthquake Information Center (NEIC) [W3], verifica-se que Portugal não é dos países de maior sismicidade na Europa nos últimos 50 anos, se se considerar apenas sismos com magnitudes iguais ou superiores a 6 na escala de Richter (figura 6.7). Portugal foi o país da Europa mais próximo do sismo de maior intensidade sentido até hoje neste continente, o sismo de 1755 (figura 6.8). Apesar de ser um país com elevado risco sísmico, pela proximidade do banco de Gorringe, local de confluência de três placas tectónicas e do epicentro do sismo de 1755, Portugal não tem sido alvo de sismos de grandes magnitudes depois de 1755, ao contrário da já referida Itália, em que o uso de alvenaria estrutural é comum.

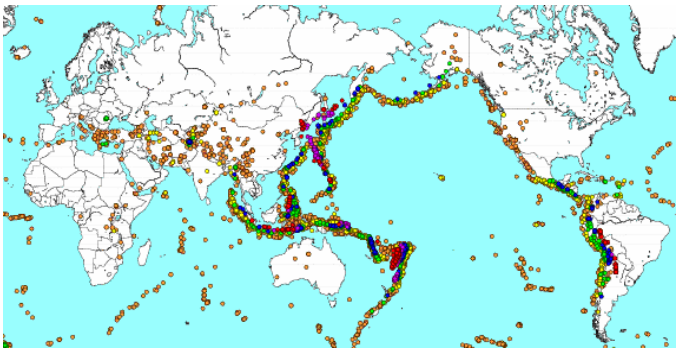


**Fig. 6.7 – Sismos ocorridos no mundo desde 1957 a 2007 com magnitude igual ou superior a 6 na escala de Richter.**

**Fig. 6.8 – Sismos na Europa com magnitude igual ou superior a 8.**

A Grécia é um dos países da Europa que mais sofreu com sismos de elevada magnitude no final do século XX, com 3 grandes sismos em 1978 (Thessaloniki), 1981 (Alkyonides) e 1986 (Kalamata). Tais ocorrências levaram à criação de novos regulamentos estruturais em 1990, muito mais rigorosos. Na Grécia, à semelhança do que acontece em Portugal, usa-se maioritariamente estruturas de betão armado e são raros os casos de alvenaria estrutural, já que em ambos os países as questões sísmicas parecem ter uma importância capital.

Em países como o Brasil ou os E. U. A., que possuem zonas (Este do continente Americano) em que a sismicidade é muito reduzida, a implementação de soluções de alvenaria estrutural é elevada. No Brasil, existem grandes obras de alvenaria estrutural mas, como país com baixo rigor construtivo, não usa o TFV e os edifícios são de segurança questionável (Santos, Sinha, Roman, 2001). Segundo Jim Fredric, na zona mais a Oeste dos E. U. A., também se usa alvenaria estrutural, utilizando-se tijolos de grandes dimensões (16’’x 8’’), em pano único, frequentemente à vista.

Países como a Inglaterra e a Itália, com grande tradição no uso do tijolo tradicional, utilizam o tijolo maciço com uma grande versatilidade. A aplicação de tijolo nestes países é considerada uma arte e não pode ser comparado à aplicação de tijolo em Portugal. A figura 6.9 mostram uma aplicação de tijolo maciço à vista em pano duplo em Itália, preenchido no seu interior com betão armado, e a figura 6.10 mostra um detalhe construtivo esquemático da construção com tijolo maciço de uma aplicação de alvenaria estrutural exclusivamente com tijolo maciço face à vista.

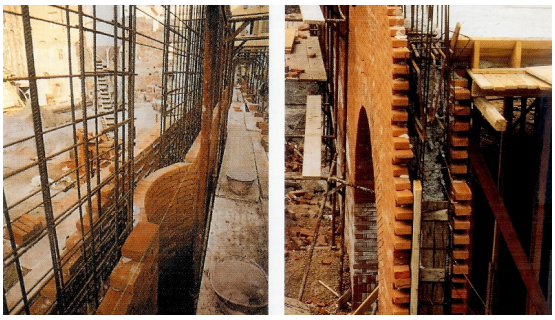


**Fig. 6.9 – Parede de betão armado betonada contra duas paredes de alvenaria estrutural à vista (Brambilla, 2001).**

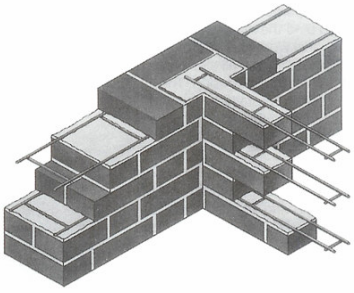


**Fig. 6.10 – Alvenaria estrutural armada (Powell et al, 2005).**

Existem ainda inovações como as cascas de alvenaria armada (figura 6.11) e a alvenaria com armaduras pré ou pós-tensionadas que têm sido alvo de estudos em diversos países, campo em que se destacou Eladio Dieste (Sinha, 2002), com obras como a torre de água de Salto, no Uruguai (figura 6.12). Estudos prosseguem, sendo mais uma alternativa que poderá também vir a ter aplicações em fachadas de edifícios, sendo no entanto maioritariamente utilizadas em obras de maior especificidade.

**Fig. 6.11 – Construção em casca de alvenaria cerâmica armada, inspirada no trabalho de Dieste, em Espanha (Lourenço, 2005).**

**Fig. 6.12 – Torre de água de E. Dieste (Sinha, 2002).**

# 7 Análise económica

O TFV tem por vezes a conotação de material caro relativamente à alvenaria tradicional de TF. Os elementos de alvenaria são efectivamente mais caros por metro quadrado. Existem elementos adicionais como os grampos de ligação das duas fachadas ou as membranas impermeabilizantes. Estes são elementos que melhoram o desempenho da fachada, tornando-a mais eficiente do que as fachadas convencionais. Custos adicionais na produção de fachadas de panos duplos de TF poderiam trazer melhorias de desempenho. Os trabalhos de alvenaria representam cerca de 15% do valor total da construção de edifícios e representam 25% do total de anomalias nos edifícios (Lourenço, 2005). Um investimento em melhor qualidade nas fachadas poderá reduzir significativamente os custos de reparação de edifícios.

Segundo Lourenço (2002), a utilização de alvenaria tradicional em TF é uma solução com significativas vantagens em termos de soluções leves. No entanto, é preciso ter em atenção soluções alternativas como a alvenaria armada que pode reduzir significativamente os danos em paredes exteriores de edifícios face a estados limite de serviço, especialmente em grandes panos. Segundo o mesmo autor (2006), os danos sísmicos em elementos não estruturais podem atingir 80% do custo do edifício em sismos de intensidade média a elevada. É necessário por isso analisar a questão dos custos de uma forma mais abrangente, tendo em conta, para além dos custos iniciais e de manutenção (tratados neste capítulo), os custos de reparação que poderão vir a surgir e os custos gerados ao longo de todo o ciclo de vida do TFV, desde a extracção da matéria-prima até à reciclagem de tijolos em fim de vida útil ou inutilizados.

## 7.1 Entraves à análise económica

O TFV ainda não é uma solução com significado no mercado, sendo por isso difícil encontrar estudos de custos comparativos de custos entre esta solução e as soluções convencionais de alvenaria. No mercado internacional, a tarefa de obtenção de estudos fica facilitada, mas os elementos de alvenaria são de naturezas diferentes,

quer em forma, quer em composição, a execução difere muitas vezes e o rigor também. Extrapolar conclusões para o mercado Português torna-se-ia falacioso e inconclusivo.

Um estudo realizado pela Sioux City Brick & Tile Co. demonstra poupanças de cerca de 25% na aplicação de elementos de alvenaria de maiores dimensões, mas resume-se apenas a analisar o assentamento dos elementos, sem ter em conta a aplicação de revestimentos.

A Upchurch Kimbrough Company apresenta o quadro 7.1 de custos de soluções acabadas de alvenaria, mas não inclui as soluções tradicionalmente aplicadas em Portugal.

**Quadro 7.1 – Custo comparativo de soluções de alvenaria [W4].**

| **Produto** | **Dimensões** | **Custo por polegada quadrada*** |
|---|---|---|
| Bloco de betão *split face* | 4" x 8" x 16"<br>8" x 8" x 16" | $6,38<br>$7,88 |
| Bloco *burnished* | 4" x 8" X 16"<br>6" x 8" x 16"<br>8" x 8" 16" | $11,00<br>$11,70<br>$12,32 |
| TFV | "Tamanho rei"<br>Modular<br>4" x 4" x 12"<br>8" x 8" | $7,40<br>$9,00<br>$8,60<br>$9,25 |
| Tijolo *thin* | Modular | $12,00 |

**Os preços incluem a mão-de-obra e material segundo o guia de custo.**

**Publicado originalmente pelo Texas Masonry Council.**

*** Estimativas médias fornecidas pelo Upchurch Kimbrough Company.**

O TFV surge como uma alternativa das mais económicas das apresentadas no estudo. Não são especificados os tipos de acabamento dos vários tipos de soluções, pelo que se torna mais uma vez um estudo bastante inconclusivo.

## 7.2 Estudo comparativo de soluções de fachada efectuado pela CVG

A CVG efectuou uma análise comparativa de custos de uma solução de TFV, face a uma solução idêntica de TF e uma outra que imita o aspecto estético do TFV com aplicação de plaquetas cerâmicas. Os resultados da análise económica efectuada pela CVG estão expressos nos quadros 7.1, 7.2 e 7.3.

**Quadro 7.2 – Solução de reboco pintado.**

| Solução de reboco pintado | Custo/m$^2$ |
|---|---|
| Tijolo vazado 11 cm | 2,00 € |
| Isolamento térmico (mín. 4 cm) | 5,00 € |
| Tijolo vazado 15 cm | 2,50 € |
| Grampos de aço inox | 2,00 € |
| Argamassa de assentamento | 2,00 € |
| Reboco hidrófugo especial | 7,50 € |
| Primário + pintura de alta qualidade | 15,00 € |
| Aplicação do tijolo vazado | 8,50 € |
| Meias-canas e equilibradores de pressão | 2,50 € |
| Aplicação do reboco | 2,50 € |
| **Total** | **49,50 €** |

**Quadro 7.3 – Solução de plaqueta cerâmica.**

| Solução de plaqueta | Custo/m$^2$ |
|---|---|
| Tijolo vazado 11 cm | 2,00 € |
| Isolamento térmico (mín. 4 cm) | 5,00 € |
| Tijolo vazado 15 cm | 2,50 € |
| Grampos de aço inox | 2,00 € |
| Argamassa de assentamento | 1,00 € |
| Reboco hidrófugo especial | 6,50 € |
| Cola cimentícia de lig. mistos C2 (CE) | 4,00 € |
| Plaqueta | 7,50 € |
| Argamassa para betumação | 2,00 € |
| Aplicação do tijolo vazado | 8,00 € |
| Aplicação da plaqueta | 13,00 € |
| **Total** | **53,50 €** |

**Quadro 7.4 – Solução de TFV.**

| Solução de tijolo face à vista | Custo/m$^2$ |
|---|---|
| Tijolo vazado 15 cm | 2,50 € |
| Isolamento térmico (mín. 4 cm) | 5,00 € |
| Grampos de aço inox | 2,00 € |
| Tijolo face à vista | 11,50 € |
| Argamassa de assentamento | 4,00 € |
| Meia-cana | 2,00 € |
| Aplicação do tijolo vazado | 2,00 € |
| Aplicação do tijolo face à vista | 17,50 € |
| **Total** | **46,50 €** |

### 7.2.1 Análise de resultados

O estudo conclui que o TFV é a solução mais económica e as plaquetas cerâmicas a mais cara. Este estudo serve essencialmente para dar uma noção de que as diferentes soluções não apresentam grandes discrepâncias de preço. Não deve ser aceite inequivocamente e deve servir de estímulo a outros estudos, preferencialmente por entidades não produtoras, de forma a não ser questionada a sua imparcialidade. As paredes de TF não têm necessariamente grampos de fixação entre os panos e os materiais utilizados para revestimento podem ter grandes oscilações de preço. A figura 7.1 apresenta um gráfico, com uma das muitas análises possíveis. Neste caso tenta evidenciar-se o maior custo do tijolo, plaqueta e mão-de-obra nas soluções de TFV e plaquetas cerâmicas e o elevado custo da execução de outras tarefas, em revestimentos, essencialmente na solução de TF.

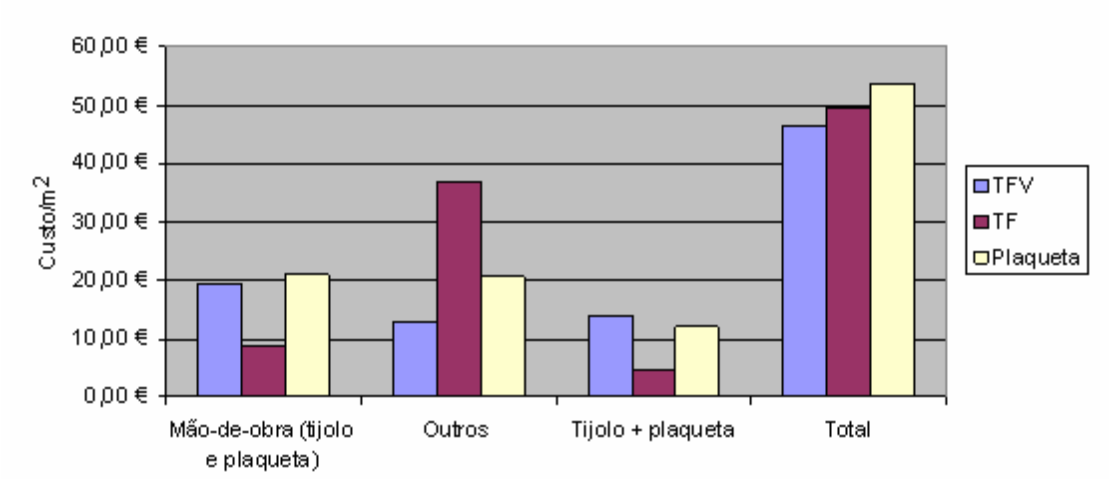



**Fig. 7.1 – Gráfico de análise dos vários custos de cada solução de fachada.**

## 7.3 Custos de manutenção

A durabilidade de uma fachada de TFV é uma das suas maiores vantagens. A CVG efectuou também uma previsão de custos de manutenção de uma fachada de TFV e de uma fachada pintada. Os resultados são apresentados no quadro 7.4. A

previsão foi feita para um período de 10 anos, que representa a garantia dos edifícios na maioria dos países da EU (Manual, 2006).

**Quadro 7.5 – Previsão de custos de manutenção em 10 anos (adaptado de Manual, 2006).**

| Manutenção | TFV* | Pintura** |
|---|---|---|
| 3 anos | 0 | 7,50 |
| 6 anos | 0 | 15,00 |
| 9 anos | 0 | 22,50 |
| **Total** | **0,0 €/m$^2$** | **42,55 €/m$^2$** |

*Valores questionáveis, pois a manutenção das fachadas pode ser necessária, embora reduzida.

**Valor previsto para os custos do material + mão de obra de aplicação + aluguer de andaime.

Sem considerar o valor da inflação anual em todos os valores..

Mais uma vez, é necessário olhar para esta previsão de forma cuidada, visto que, por exemplo, os tratamentos hidrofugantes efectuados nas fachadas de TFV inicialmente, podem não oferecer desempenhos satisfatórios durante o período de 10 anos e a análise de custos de manutenção deve ser feita para tempos de vida útil dos edifícios. A previsão conduz assim a uma economia muito significativa a longo prazo, algo que já tinha sido referido como uma vantagem do material várias vezes ao longo deste documento.

# 8 Perspectivas de futuro

O tijolo cerâmico tem mantido um papel de elevada relevância ao longo de milhares de anos. Actualmente, o mercado apresenta uma grande diversidade de soluções de alvenaria, bem como alternativas ao uso de alvenaria. A investigação e evolução tecnológica são uma necessidade para qualquer material de construção de alvenaria que pretenda manter a sua competitividade perante as outras soluções existentes. Neste capítulo, são apresentadas considerações sobre as perspectivas de futuro para este material em vários países do mundo, essencialmente na Europa e com especial destaque para Portugal, que vive nesta área numa realidade bastante diferente de grande parte dos países da EU.

## 8.1 Portugal

Portugal é um dos países da União Europeia menos evoluídos a nível de construção de alvenaria, especialmente de TFV, como pôde ser constatado ao longo deste documento. O futuro em Portugal passa por uma maior abertura às inovações no sector da construção, procurando assimilar os progressos dos países mais desenvolvidos. Com a entrada em vigor dos Eurocódigos, essa função passa a ser facilitada, não apenas pela entrada em Portugal de padrões Europeus, mas também pelo incentivo a uma maior internacionalização dos profissionais do sector da construção pelos vários países da União Europeia. Sendo a qualificação de profissionais na aplicação de TFV uma das dificuldades apontadas à proliferação desta solução em Portugal, a importação de tais profissionais, quer para execução de obras, quer para formar mão-de-obra nacional, representa uma mais valia para o sector em Portugal. O carácter transitório do emprego no país também dificulta o desenvolvimento da especialização desejável.

A adopção de projectos de alvenaria completos, com especial atenção a pontos singulares, é indispensável. Muitos dos erros de execução, como a ausência de grampeamento e de armaduras em pontos singulares poderiam ser evitados com a prescrição de tais indicações em projecto. As paredes devem ser projectadas tendo em

conta o seu custo global, incluindo a construção, utilização e manutenção. É necessária a melhoria da qualidade dos materiais, começando a intervir logo a nível das matérias-primas. Deve procurar-se produzir de uma maior diversidade de elementos de alvenaria de TFV, especialmente para aplicação em pontos singulares, de forma a facilitar os trabalhos de execução e a qualidade das fachadas. A adopção de elementos leves de betão ou barro, em panos interiores ou exteriores, respectivamente, termicamente melhorados e, no caso dos panos interiores, permitindo usar elementos de maiores dimensões (Carvalho e Sousa 2006).

## 8.2 Europa

Existe algum consenso relativamente à evolução das alvenarias, parte da qual não muito favorável ao TFV. Este é um material tradicional, com características muito próprias. A utilização de elementos de cada vez maiores dimensões, de materiais mais leves, mas ao mesmo tempo com elevadas resistências, com sistemas de encaixe e preparados para aplicação em pano simples e a utilização do pré-esforço em alvenarias são algumas das perspectivas de futuro apontadas por especialistas de países como Alemanha, Itália, China ou Índia (Santos, 2006).

A pré-fabricação e a robótica reúnem também algum consenso, como resposta à falta de mão-de-obra suficientemente qualificada e às cada vez mais exigentes normas de qualidade. São formas de obter uma produção mais uniforme e controlada. Segundo Bender (2003), a prefabricação de alvenarias traz também vantagens financeiras e começou a ser utilizada na primeira metade do século XX, inicialmente na Alemanha, com tijolo maciço, em 1927, e mais tarde na França e Itália, em 1947, e União Soviética, em 1959. A França destacou-se particularmente nesta área, tendo sido desenvolvidos sistemas de produção como o "Baret", "Fiorio", Schaeffer" e "Costamagna". Não são no entanto todos utilizados para o TFV. Apesar de serem estudadas e aperfeiçoadas há várias décadas, ainda não são uma solução que faça concorrência significativa à execução de alvenaria "in situ". Informação mais detalhada sobres estes métodos pode ser consultada em Bender (2003), cujo artigo termina salientando como principais vantagens a melhor qualidade, a redução do

tempo de construção dos edifícios, elevada fiabilidade no planeamento de prazos e custos e as já referidas vantagens financeiras.

A execução de peças mais diversificadas, de forma a evitar corte de peças em obra e facilitar a execução de fachadas curvas, bem como o não preenchimento de juntas verticais em zonas sísmicas, são também apontadas. As vantagens desta última prática são evidenciadas pelo alívio de tensões nos elementos de alvenaria, como mostra a figura 8.1. Este tipo de solução implica perca de desempenho relativamente à resistência à água, fogo e a sons aéreos (Delmotte e Merlet, 2006).

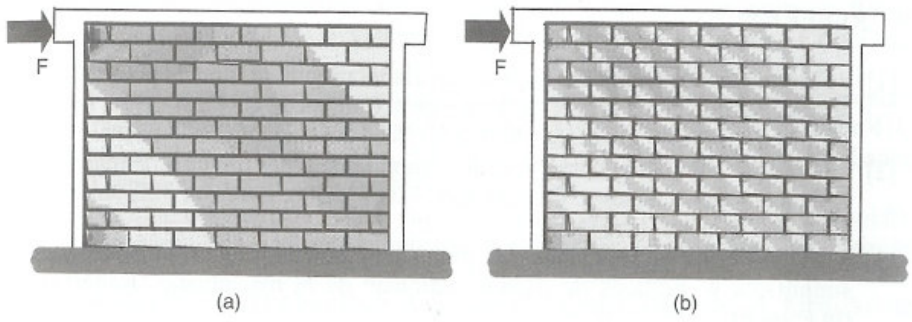



**Fig. 8.1 – Tensões numa parede de alvenaria sob a acção de uma acção horizontal com as juntas verticais preenchidas (a) e sem as juntas verticais preenchidas (b).**

Segundo Jäger e Schöps (2006), a utilização de aplicadores de argamassa garante uma maior uniformidade na espessura das juntas (figura 8.2), especialmente importante na aplicação com juntas de baixa espessura (figura 8.3). No processo de fabrico, os autores referem a necessidade de aumentar a estabilidade dimensional dos TFV. Com uma maior estabilidade dimensional, será possível diminuir as anomalias em fachadas, bem como melhorar o seu aspecto final pela diminuição do número de juntas de dilatação necessárias. Esse problema pode ser resolvido com a eliminação total das juntas, evolução sugerida por Ulfweck (2006), utilizando sistemas de fixação mecânica em substituição de argamassa, algo que acarreta problemas semelhantes aos referidos no final do parágrafo anterior, acrescidos de custos avultados da estrutura metálica de fixação devido às pequenas dimensões e elevado peso próprio dos elementos de TFV.

Os Eurocódigos também permitirão uma maior aproximação dos países Europeus relativamente à construção, algo que poderá ser altamente benéfico no futuro.

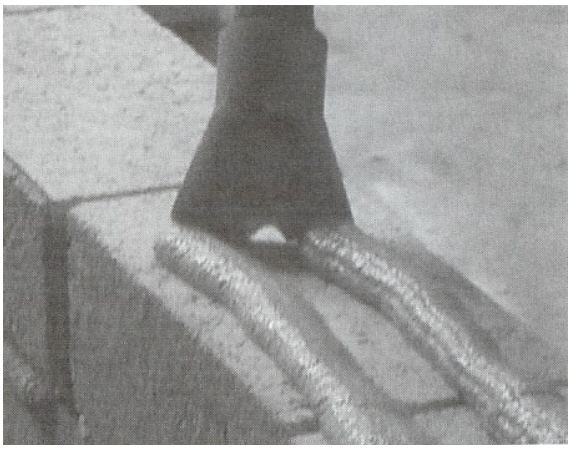


**Fig. 8.2 – Doseador de argamassa do tipo "pistola" (Santos, 2006).**

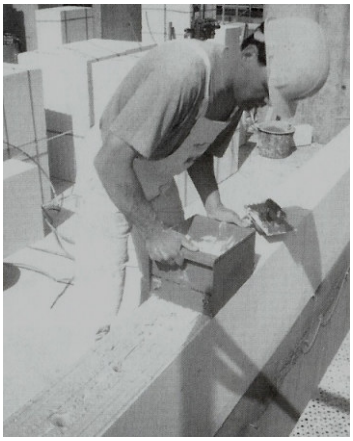


**Fig. 8.3 – Doseador de argamassa para juntas finas (Santos, 2006).**

# 9 Conclusão

## 9.1 Considerações finais

O TFV (tijolo face à vista) não é aplicado em Portugal, porque ao longo da história da construção se perdeu o hábito de o fazer, nunca tendo atingido em Portugal os níveis de qualidade necessários a uma aplicação bem sucedida. O tijolo foi sempre revestido, deixando de ser importante a sua forma ou aspecto estético, generalizando-se as unidades LD (*Low Density*), utilizadas em alvenaria não estrutural. A generalização da utilização de estruturas reticuladas de betão veio contribuir para uma tendência preexistente. Perante estes factores, deixou de haver motivos para a produção de unidades HD (*High Density*) de pequenas dimensões. A sua utilização continuou a ser feita, mas quase nunca em fachadas de edifícios.

Na Europa e no mundo, a utilização do TFV modernizou-se, melhorando a sua competitividade. A qualificação técnica exigível para a execução de alvenaria de TFV é um grande entrave actualmente para a implementação desta solução em Portugal. Ignorar esta limitação da maioria dos pedreiros no nosso país será comprometer ainda mais a implementação nacional.

O TFV apresenta potencialidades que lhe permitem rivalizar com as soluções tradicionais de TF (tijolo furado) utilizadas em Portugal. Permite obter desempenhos muito semelhantes ao TF e mesmo melhores em alguns factores, desde que aplicado correctamente.

O TFV é uma unidade HD, preparada para suportar aplicações estruturais, quer seja perfurado quer maciço. A alvenaria estrutural em Portugal tem pouca expressão, mas é utilizada em muitos países Europeus, mesmo do Sul da Europa, como a Itália, cuja sismicidade é semelhante. A viabilidade deste tipo de soluções em Portugal ainda não está suficientemente estudada, mas pode ser agora mais desenvolvida com os novos eurocódigos estruturais, que incluem a alvenaria estrutural. O TVF parece ter mais viabilidade aplicado como pano exterior contínuo, não estrutural, de paredes duplas com pano interior estrutural.

O TFV apresenta rendimentos de execução semelhantes e custos de aplicação e manutenção inferiores aos do TF.

A falta de mão-de-obra qualificada é uma das maiores ameaças à continuidade da utilização do TFV na Europa e E. U. A., que se encontra neste momento longe de estar em risco.

## 9.2 Conclusões gerais

O TFV é de aplicação corrente em muitos países desenvolvidos, como Inglaterra, E. U. A., Itália ou Alemanha. Utiliza-se devido a uma longa tradição de aplicação do material, qualidades estéticas apreciadas nos respectivos países, elevada durabilidade, maior resistência estrutural e bom desempenho técnico. Em Portugal, por motivos sócio-culturais, impulsionados pela memória do grande sismo de 1755, deixou de se utilizar alvenaria estrutural com o aparecimento das estruturas reticuladas e betão. A alvenaria passou a ser sempre revestida, em unidades leves com função de enchimento e sem grande rigor construtivo. O TFV passou a ser um material novo cuja aplicação exige uma qualificação técnica muito superior à do TF. A sua má aplicação origina uma concepção popular errada do que são fachadas em TFV, podendo dar-lhes a conotação de solução construtiva problemática e com tendência a originar anomalias nas fachadas. Existe ainda a agravante de o mercado da construção em Portugal ser caracterizado por alguma inércia, que dificulta a aceitação de novas técnicas construtivas. É de extrema importância a sensibilização de projectistas e promotores imobiliários para as qualidades do TFV, de forma a possibilitar uma maior aplicação e contrariar a referida inércia.

A legislação específica relativa a alvenaria era inexistente em Portugal até ao aparecimento do Eurocódigo 6. A legislação referente aos elementos cerâmicos para alvenaria e suas exigências era da década de 60 e 70, sendo recentemente substituída pela NP EN 771 que vem homogeneizar os critérios de qualidade dos produtos Europeus. Espera-se que as novas normas venham a ser um estimulo à melhoria da qualidade da alvenaria em Portugal e permitam uma utilização mais generalizada do TFV.

A existência de projecto de alvenaria em Portugal e a qualificação técnica são essenciais para o sucesso da implementação do TFV como solução construtiva. A execução de fachadas de TFV requer especiais cuidados com a estanquidade, juntas de dilatação, qualidade das argamassas, qualidade de acabamento, pontes de humidade, ancoramento do pano exterior e colocação de armaduras em zonas de aberturas poligonais e descontinuidades na fachada. Destaca-se a necessidade de utilização de argamassas bastardas e a necessidade de aplicação de membranas impermeabilizantes em diversos pontos críticos, como a envolvente de aberturas na fachada e a caleira de escoamento da humidade das caixas-de-ar.

Uma aplicação finalizada de TFV necessita sensivelmente do mesmo número de elementos (diferença inferior a 0,5%) para a produção de um metro quadrado de alvenaria numa hora do que uma aplicação finalizada de TF. São necessários mais 16,78 % de servente para a execução de uma solução de TFV, mas menos 48,28% de pintores. O número de pedreiros é inferior em 3,02% na solução de TFV.

A aplicação de TFV em paredes duplas facilita a utilização de isolamento contínuo em fachadas de edifício, por também o TFV ser aplicado de forma continua. Esta aplicação previne a existência de pontes térmicas e facilita a verificação do novo, e mais exigente, R. C. C. T. E. (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edificos). A solução de pano exterior de TFV por si só apresenta um desempenho cerca de 5% inferior ao de um pano exterior de TF. O desempenho acústico do TFV irá variar com o tipo de furação vertical utilizada, mas a sua elevada massa torna-o um elemento preferencial para aplicações de elevado isolamento acústico. A estanquidade inferior dos panos exteriores de TFV é colmatada com a correcta execução da caixa-de-ar, promovendo a sua correcta ventilação, sistema de escoamento de humidades eficaz e eliminação de pontes de humidade.

Segundo os estudos analisados, uma solução de TFV custa cerca de 46,50 €/$m^2$, enquanto que uma solução de TF, revestido a plaquetas cerâmicas imitando TFV custa cerca de 53,50 €/$m^2$ e uma solução de TF, rebocado e pintado, custa cerca de 49,50 €/$m^2$. O principal item de custo das duas primeiras soluções é o custo do material cerâmico e mão-de-obra, enquanto que na solução de TF o principal custo é o dos outros materiais de revestimento e sua aplicação. Os custos de manutenção de uma fachada de TFV num horizonte de 10 anos são praticamente nulos e os custos de

manutenção de fachadas de TF, rebocadas e pintadas, ascende a valores superiores a 40 €/m$^2$.

A pré-fabricação, em conjunto com a robótica, é apontada como possível solução para combater os problemas de falta de qualificação dos profissionais da área. O comportamento mecânico da alvenaria, nomeadamente a acções sísmicas, é alvo de estudos em muitos países. Soluções de fixação mecânica ou a ausência de preenchimento de juntas verticais são soluções apontadas para melhorar o desempenho destas paredes de alvenaria. Soluções mais automatizadas e menos dependentes da execução humana são as principais ambições do sector.

## 9.3 Desenvolvimentos futuros

Devido à heterogeneidade de condições existentes nos vários países da Europa, sejam elas climáticas, sísmicas, tecnológicas, culturais ou de tipologia dos materiais, a extrapolação de qualquer tipo de resultado de estudos científicos ou financeiros, por mais credível que seja a entidade que o realizou, deve ser sempre feita com muitas reservas. Estudos nacionais, com rigor, realizados por entidades cuja imparcialidade não seja colocada em causa, são essenciais para obter conclusões mais fundamentadas sobre a viabilidade da utilização do TFV em fachadas de edifícios em Portugal. Análises ao comportamento das alvenarias de TFV, mais que do material isoladamente, permitiriam tirar algumas conclusões relativamente à sua estanquidade, comportamento térmico, acústico, entre outros.

A esmagadora maioria das referências efectuadas ao material em documentação técnica nacional é breve e superficial. Espera-se que este trabalho possa vir a ser um estímulo para o desenvolvimento de documentação técnica específica.

A nível de produção, o mercado encontra-se ainda com uma oferta muito limitada. Os mercados internacionais de TFV oferecem uma grande diversidade de formatos e acabamentos das suas faces que permitem um leque mais vasto de aplicações e, consequentemente, uma maior versatilidade. Os acessórios de aplicação também continuam a ser obtidos maioritariamente por importação. Estes são problemas que só podem ser combatidos com um maior dinamismo deste mercado,

tornando a sua comercialização um negócio apetecível já que, em muitos casos, está por explorar.

O intercâmbio cada vez maior de profissionais no mercado Europeu, incentivado pela criação dos eurocódigos, permite que a tecnologia e qualificação chegue a todos os países mais facilmente. No caso Português, é mais provável que aconteça por exportação de profissionais nacionais que se especializem fora do país e voltem com a sua mais valia para aplicar os seus conhecimentos e difundi-los. Existe também a opção de trazer até Portugal profissionais estrangeiros para formar profissionais nacionais na "arte" do TFV. Nunca é demais lembrar que a qualificação dos profissionais é um dos principais factores do correcto desempenho, a todos os níveis, das fachadas de TFV.

Inovações para além do que já existe em países como a Inglaterra, parecem desenquadradas relativamente à realidade Portuguesa. Há primeiro que promover a implementação e a difusão de conhecimento internacional na aplicação dos materiais e só depois avançar para pesquisa científica interna de aperfeiçoamento das técnicas já existentes. Ignorar todo o conhecimento pré-existente na procura de inovações pode fazer com que tais inovações acabem por nunca ter aplicabilidade nem trazer benefícios directos para a construção em Portugal. É mais importante estudar a aplicabilidade das técnicas existentes noutros países adjacentes ao território nacional, promovendo cada vez mais a aproximação de Portugal aos parceiros Europeus mais desenvolvidos, neste caso no sector da construção.

# Referências bibliográficas

APPLETON, J. - Reabilitação de edifícios antigos, patologias e tecnologias de intervenção. Portugal: Edições ORION, 2003.

BENDER, Willi – Safeguarding the future for brick, machine systems for the manufacture of prefabricated brick units. ZI: Ziegelindustrie International, brick and tile industry international. Volume 56, n.º 10, 2003. pp. 18-32.

BRAMBILLA, Giorgio Federico - Il Manuale del mattone faccia a vista. Roma: Edizioni Laterservice, 2001, 430 p.

BRITO, Jorge de; CORREIA, João Ribeiro – Paredes de alvenaria de tijolo de barro vermelho. Instituto Superior Técnico, Mestrado em Construção, cadeira de Tecnologia de Contenções e Fundações, Janeiro de 2003, 67 p.

CAMARNEIRO, Luís - A importância da pormenorização no comportamento das alvenarias. In LOURENÇO, Paulo; SOUSA, Hipólito - Paredes de alvenaria, situação actual e novas tecnologias, Livro de Actas, Porto, Portugal, Fundação Dr. A. Cupertino de Miranda, 2002 pp. 169-186.

CAMPBELL, James W.P.; PRYCE, Will – História Universal do Tijolo. Caleidoscópio. Lisboa: Caleidoscópio, 2005, 320 p.

CAPOZUCCA, Roberto - Enclosure masonry wall systems worldwide in Italy. In SANTOS, S. Pompeu - Enclosure masonry wall systems worldwide. Reino Unido: Taylor & Francis, Dezembro de 2006. Cap. 8, pp. 129-146.

CARVALHO, Fernanda; SOUSA, Hipólito de - Enclosure masonry wall systems worldwide in Portugal. In SANTOS, S. Pompeu - Enclosure masonry wall systems worldwide". Reino Unido: Taylor & Francis, Dezembro de 2006. Cap. 11, pp. 179-196.

CORVACHO, Maria Helena – Catálogo de pontes térmicas. Nota de informação técnica – NIT 003. LFC, FEUP, Porto, 1999, 247 p.

DELMOTTE, P.; MERLET, J. D. - Enclosure masonry wall systems worldwide in France. In SANTOS, S. Pompeu - Enclosure masonry wall systems worldwide. Reino Unido: Taylor & Francis, Dezembro de 2006. Cap. 4, p. 48-65.

DIAS, António Baio - Construção em tijolo cerâmico: das exigências Normativas do produto à prática de aplicação. In LOURENÇO, Paulo; SOUSA, Hipólito - Paredes de Alvenaria, Situação Actual e Novas Tecnologias, Livro de Actas, Porto, Portugal, Fundação Dr. A. Cupertino de Miranda, 2002, pp. 41-64.

DIAS, António Manuel Baio; FERREIRA, Marta Luísa – Guia para implementação de um sistema de controlo da produção para a marcação CE de tijolo cerâmico, telha cerâmica e acessórios. Coimbra: Apicer, Fevereiro de 2007, 71 p.

FATIH, Tutunlu - Utilization of fly ash in manufacturing of building bricks. In 2001 international ash utilization symposium. Kentucky: Center for applied energy research, University of Kentucky, 2001, Paper #13, 6 p. (disponível em http://www.flyash.info/ a 30/06/07)

GU, Xianglin; LI, Xiang; PENG, Bin - Enclosure masonry wall systems worldwide in China. In SANTOS, S. Pompeu - Enclosure masonry wall systems worldwide. Reino Unido: Taylor & Francis, Dezembro de 2006. Cap. 3, pp. 31-47.

HISPALYT - Manual [de] ejecución de fachadas con ladrillo cara vista Madrid: Hispalyt, 1998.

JÄGER, Wolfram; SCHÖPS, Peter - Enclosure masonry wall systems worldwide in Germany. In SANTOS, S. Pompeu - Enclosure masonry wall systems worldwide. Reino Unido: Taylor & Francis, Dezembro de 2006. Cap. 5, pp. 66-84.

KLAAS, Helmut - The problem of builging a brick house in Europe. ZI: Ziegelindustrie International, brick and tile industry international. Volume 46, n.º 7-8, 1993, pp. 111-122.

KUBICA, Jan - Enclosure masonry wall systems worldwide in Poland. In SANTOS, S. Pompeu - Enclosure masonry wall systems worldwide. Reino Unido: Taylor & Francis, Dezembro de 2006. Cap. 10, pp, 157-178.

LOURENÇO, P.B., Concepção e projecto para alvenaria, Eds. P.B. Lourenço e H. Sousa, Universidade do Minho, Guimarães, 2002, pp. 77-110.

LOURENÇO, P.B. - Aspectos sobre a construção em alvenaria estrutural: congresso nacional de engenharia de estruturas. Lisboa: Ed. S. Pompeu Santos et al, 2002, pp. 469-478.

LOURENÇO, P. B. – Análise, projecto e reforço de estruturas de alvenaria. Lisboa: IST/FUNDEC, 2004, 71 p.

LOURENÇO, P.B., Alvenaria: Passado e presente, Construção Magazine, n.º 12, 2005, pp. 34-35.

LOURENÇO, P.B., A nova regulamentação e as estruturas de alvenaria, Construção Magazine, n.º 15, 2006. p. 50-51.

MANSO, A. Costa; FONSECA, M. Santos; ESPADA, J. Carvalho - Informação sobre Custos, Fichas de Rendimentos. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, 2007, 1226 p.

MANUAL técnico, tijolo de face à vista, paver cerâmico, plaqueta, tijolo maciço. Mortágua: Cerâmica Vale da Gândara, 2006, pp. 1-106.

MARTENS, Dirk - Enclosure Masonry Wall Systems Worldwide in Belgium and the Netherlands. In SANTOS, S. Pompeu - Enclosure masonry wall systems worldwide. Reino Unido: Taylor & Francis, Dezembro de 2006. Cap. 1, pp. 1-14.

PAIVA, J. Vasconcelos; SANTOS, C. Pina - Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. ITE 28, LNEC, Lisboa, 1990, 170 p.

PIERS, Giovanni - The problem of builging a brick house in Europe. ZI: Ziegelindustrie International, brick and tile industry international. Volume 46, n.º 7-8, 1993. p. 452-455.

POWELL, Chris et al - The BDA guide to successful brickwork. 3ª ed. Inglaterra: Butterworth-Heinemann Ltd, 2005, 242 p.

PRÉMIO de Arquitectura, tijolo de face à vista, Cerâmica do Vale da Gândara 2004/05. Portugal: Caleidoscópio, Janeiro 2006, 30 p.

ROMAN, Humberto R.; SILVA, Denise A. da - Enclosure masonry wall systems worldwide in Brasil. In SANTOS, S. Pompeu - Enclosure masonry wall systems worldwide. Reino Unido: Taylor & Francis, Dezembro de 2006. Cap. 2, pp. 15-30.

ROY, B. C. - Enclosure masonry wall systems worldwide in India. In SANTOS, S.

Pompeu - Enclosure masonry wall systems worldwide. Reino Unido: Taylor & Francis, Dezembro de 2006. Cap. 7, pp. 101-128.

SANTOS, F. A.; SINHA, B. P.; ROMAN, H. R. - The effect of construction defect on the strength and behaviour of masonry structures in Creative Systems in Structural and construction Engineering. Rotterdam: Ed. A. Singh, AA Balkema, 2001, pp. 587-591.

SANTOS, S. Pompeu - Enclosure masonry wall systems worldwide. Reino Unido: Taylor & Francis, Dezembro de 2006, 214 p.

SILVA, J. Mendes et al - Manual de Alvenaria de Tijolo. Coimbra: APICER, Setembro 2000, 207 p.

SIMÕES, Abel – O tijolo, velho e sempre novo material de construção. Lisboa: LNEC, 1966, 24 p.

SINHA, Braj P. - Development and potential of structural masonry. In LOURENÇO, Paulo; SOUSA, Hipólito - Paredes de alvenaria, situação actual e novas tecnologias, Livro de Actas, Porto, Portugal, Fundação Dr. A. Cupertino de Miranda, 2002, pp. 1-16.

ULFWECK, Tor - Enclosure masonry wall systems worldwide in the Nordic Coutries. In SANTOS, S. Pompeu - Enclosure masonry wall systems worldwide. Reino Unido: Taylor & Francis, Dezembro de 2006. Cap. 9, pp. 147-156.

VINTZILEOU, Elizabeth - Enclosure masonry wall systems worldwide in Greece. In SANTOS, S. Pompeu - Enclosure masonry wall systems worldwide. Reino Unido: Taylor & Francis, Dezembro de 2006. Cap. 6, pp. 85-100.

**Catálogos:**

CATÁLOGO cerâmica Vale da Gândara, 2006

MURFOR – Armaduras para alvenarias, Bekaert, 2005.

**Referências regulamentares e normativas:**

[R1] NP ENV 1996-1-1:2000 (Ed. 1) - Eurocódigo 6: Projecto de estruturas de alvenaria. Parte 1-1: Regras gerais para edifícios. Regras para alvenaria armada e não armada. IPQ, Lisboa, 2000.

[R2] NP ENV 1996-1-2:2000 (Ed. 1) - Eurocódigo 6: Projecto de estruturas de alvenaria. Parte 1-2: Regras gerais. Verificação da resistência ao fogo. IPQ, Lisboa, 2000.

[R3] NP ENV 1996-1-3:2000 - Eurocódigo 6: Concepção de estruturas de alvenaria. Parte 1-3: Regras gerais para edifícios. Regras detalhadas sobre cargas laterais. IPQ, Lisboa, 2000.

[R4] NP ENV 1996-2:2000 - Eurocódigo 6: Concepção de estruturas de alvenaria. Parte 2: Concepção, selecção de materiais e execução de obras de alvenaria. IPQ, Lisboa, 2000.

[R5] NP EN 771-1:2006 (Ed. 1) - Especificações para unidades de alvenaria. Parte 1: Tijolos cerâmicos para alvenaria. IPQ, Lisboa, 2006

[R6] NP 80:1964 (Ed. 2) - Tijolos para alvenaria. Características e ensaios. IPQ, Lisboa 1964.

[R7] NP 834:1971 (Ed. 1) - Tijolos de barro vermelho para alvenaria. Formatos. IPQ, Lisboa, 1971.

[R8] NP EN 772-1:2002 - Métodos de ensaio de blocos para alvenaria. Parte 1: Determinação da resistência à compressão. IPQ, Lisboa, 2002.

[R9] NP EN 772-3:2000 - Métodos de ensaio para elementos de alvenaria. Parte 3: Determinação do volume líquido e da percentagem de furação em elementos cerâmicos para alvenaria por pesagem hidrostática. IPQ, Lisboa, 2000.

[R10] NP EN 772-5:2007 - Métodos de ensaio para unidades de alvenaria. Parte 5: Determinação do teor de sais solúveis activos de tijolos cerâmicos para alvenaria. IPQ, Lisboa, 2007.

[R11] EN 772-7:2000 - Métodos de ensaio para elementos de alvenaria. Parte 7: Determinação da absorção de água em água fervente de elementos cerâmicos para alvenaria. IPQ, Lisboa, 2000.

[R12] EN 772-9:1998 - Methods of test for masonry units - Part 9: Determination of volume and percentage of voids and net volume clay and calcium silicate masonry units by sand filling. IPQ, Lisboa, 1998.

[R13] NP EN 772-11:2002 - Métodos de ensaio de blocos para alvenaria. Parte 11: Determinação da absorção de água por capilaridade de blocos para alvenaria de betão de agregados, de betão "face à vista" e de pedra natural, e da taxa de absorção inicial de água de blocos cerâmicos. IPQ, Lisboa, 2002.

[R14] NP EN 772-13:2002 - Métodos de ensaio de blocos para alvenaria. Parte 13: Determinação da massa volúmica real seca e da massa volúmica aparente seca de blocos para alvenaria (excepto blocos de pedra natural) . IPQ, Lisboa, 2002.

[R15] NP EN 772-16:2002 - Métodos de ensaio de blocos para alvenaria. Parte 16: Determinação das dimensões. IPQ, Lisboa, 2002.

[R16] EN 772-19 - Methods of test for masonry units - Part 19: Determination of moisture expansion of large horizontally perforated clay masonry units;

[R17] NP EN 772-20:2002 - Métodos de ensaio de blocos para alvenaria. Parte 20: Determinação da planeza das faces de blocos para alvenaria de betão de agregados, de betão "face à vista" e da pedra natural. IPQ, Lisboa, 2002.

[R18] EN 998-2 - Specification for mortar for masonry - Part 2: Masonry mortar;

[R19] NP EN 1052-3:2005 - Métodos de ensaio de alvenaria. Parte 3: Determinação da resistência inicial ao corte. IPQ, Lisboa, 2005.

[R20] NP EN 1745:2005 - Alvenarias e elementos de alvenaria. Métodos para determinação de valores térmicos de cálculo. IPQ, Lisboa, 2005.

[R21] EN 13501-1:2007 - Fire classification of construction products and building elements - Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests. IPQ, Lisboa, 2007.

[R22] NP EN 771-6:2007 (Ed. 1) - Especificações para unidades de alvenaria. Parte 6: Unidades de alvenaria em pedra natural. IPQ, Lisboa, 2007.

[R23] EN 771-2:2003 (Ed. 2) - Especificações para elementos de alvenaria. Parte 2: Blocos sílico-calcários. IPQ, Lisboa, 2003.

[R24] EN 771-3:2003 (Ed. 1) - Especificações para blocos de alvenaria. Parte 3: Blocos de betão de agregados (densos e leves). IPQ, Lisboa, 2003.

[R25] EN 771-4:2003 (Ed. 2) - Especificações para elementos de alvenaria. Parte 4: Blocos de betão celular autoclavados. IPQ, Lisboa, 2003.

[R26] EN 771-5:2003 (Ed. 1) - Especificações para elementos de alvenaria. Parte 5: Blocos de pedra para alvenaria. IPQ, Lisboa, 2003.

[R27] UNE 83800:1994 EX - Morteros de albañilería. Definiciones y especificaciones. AENOR, Espanha, 1994.

[R28] DIN 1053-1 - Masonry - Design and construction. Deutsches Institut für Normung, Berlim, 1996.

[R29] Decreto-Lei nº 64/90 de 21 de Fevereiro - Regulamento de Segurança Contra Incêndio em Edifícios de Habitação (RSCIEH), Lisboa, 1990.

[R30] Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Lisboa, 2006.

[R31] Decreto-Lei nº 292/00 de 14 de Novembro - Regulamento Geral sobre o Ruído (RGR), Lisboa, 2000.

[R32] EN 1998-1:2004 - Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. IPQ, Lisboa, 2004.

**Referências online:**

[W1] http://www.risco.org/

[W2] http://www.valegandara.com/

[W3] http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/

[W4] http://www.upchurchkimbrough.com/masonry.html/

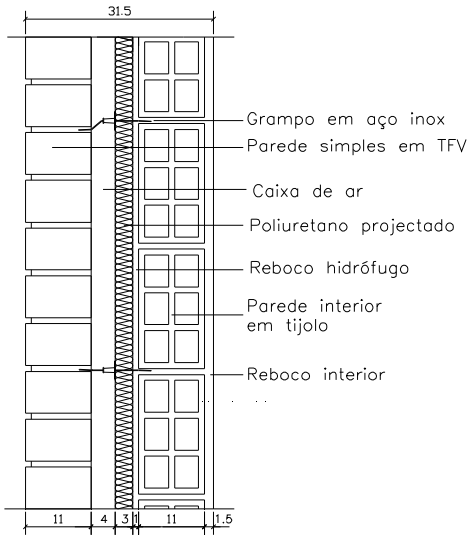
# ANEXOS

## Detalhes construtivos de alvenaria em TFV

PAREDE DUPLA COM CAIXA DE AR

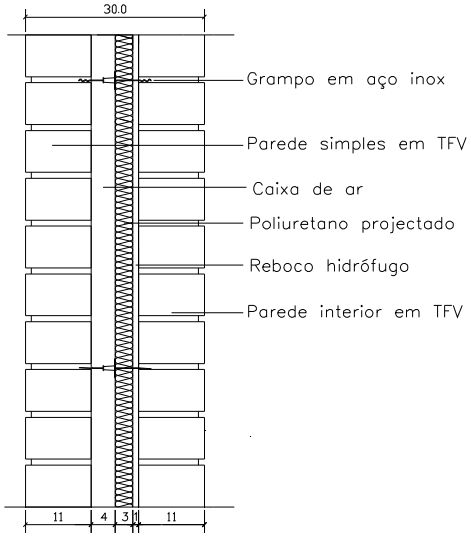
CVG\TFV\07.dwg

Pano exterior: Parede simples em TFV
Pano interior: Tijolo vazado (30x20x11)




PAREDE DUPLA COM CAIXA DE AR

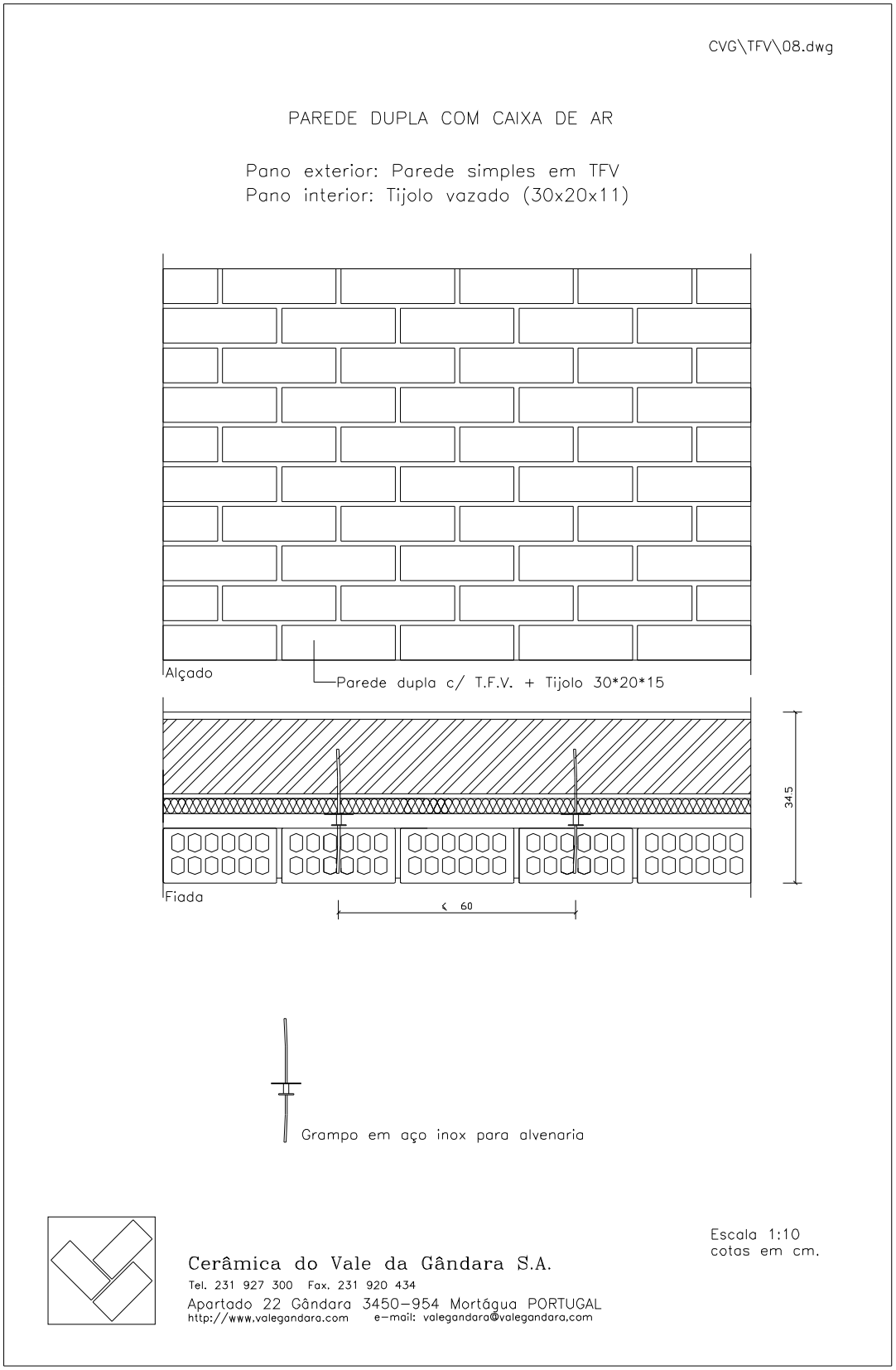
Pano exterior: Parede simples em TFV
Pano interior: Parede simples em TFV



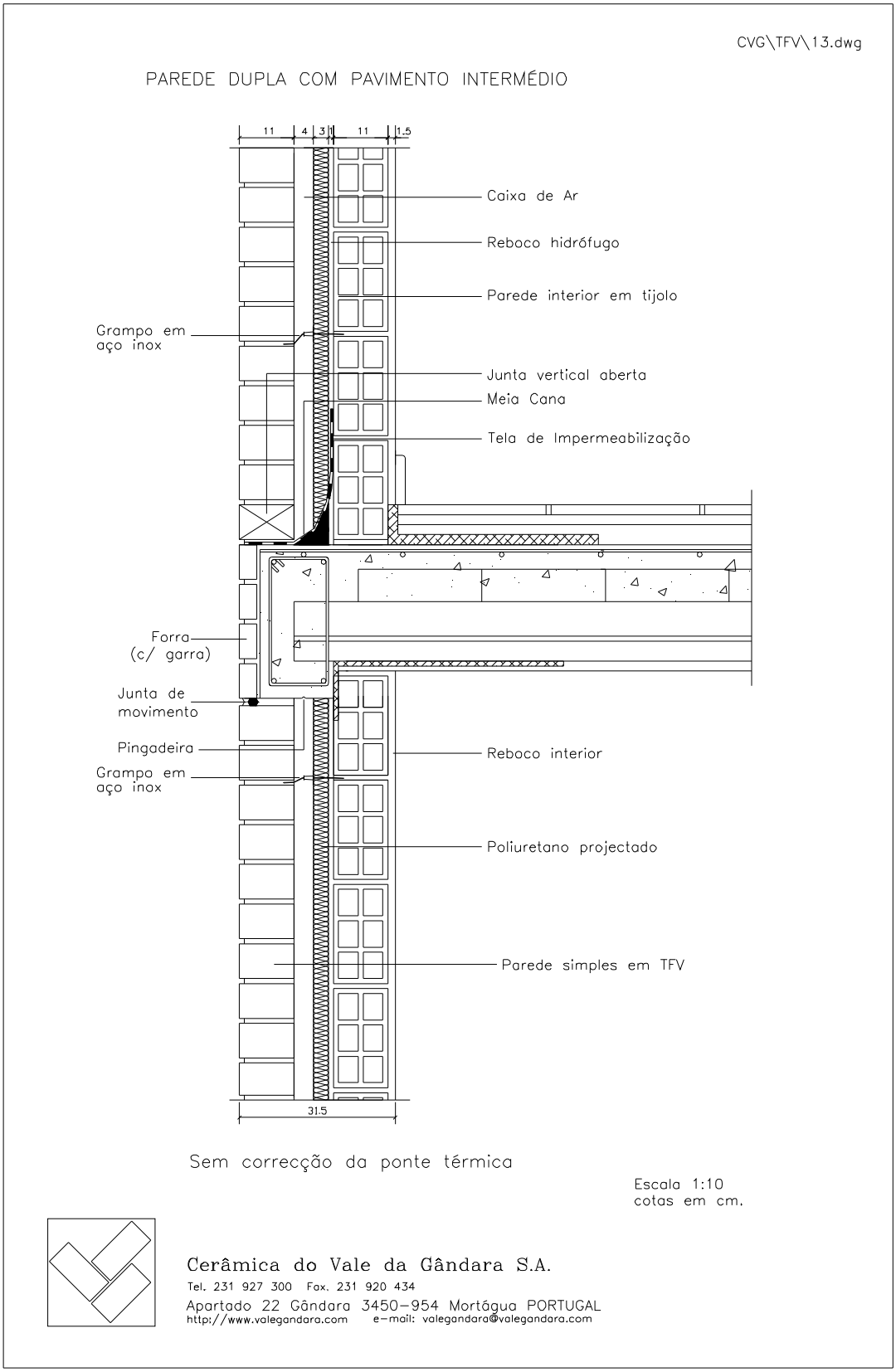

Cerâmica do Vale da Gândara S.A.
Tel. 231 927 300 Fax. 231 920 434
Apartado 22 Gândara 3450-954 Mortágua PORTUGAL
http://www.valegandara.com e-mail: valegandara@valegandara.com

Escala 1:10
cotas cm.

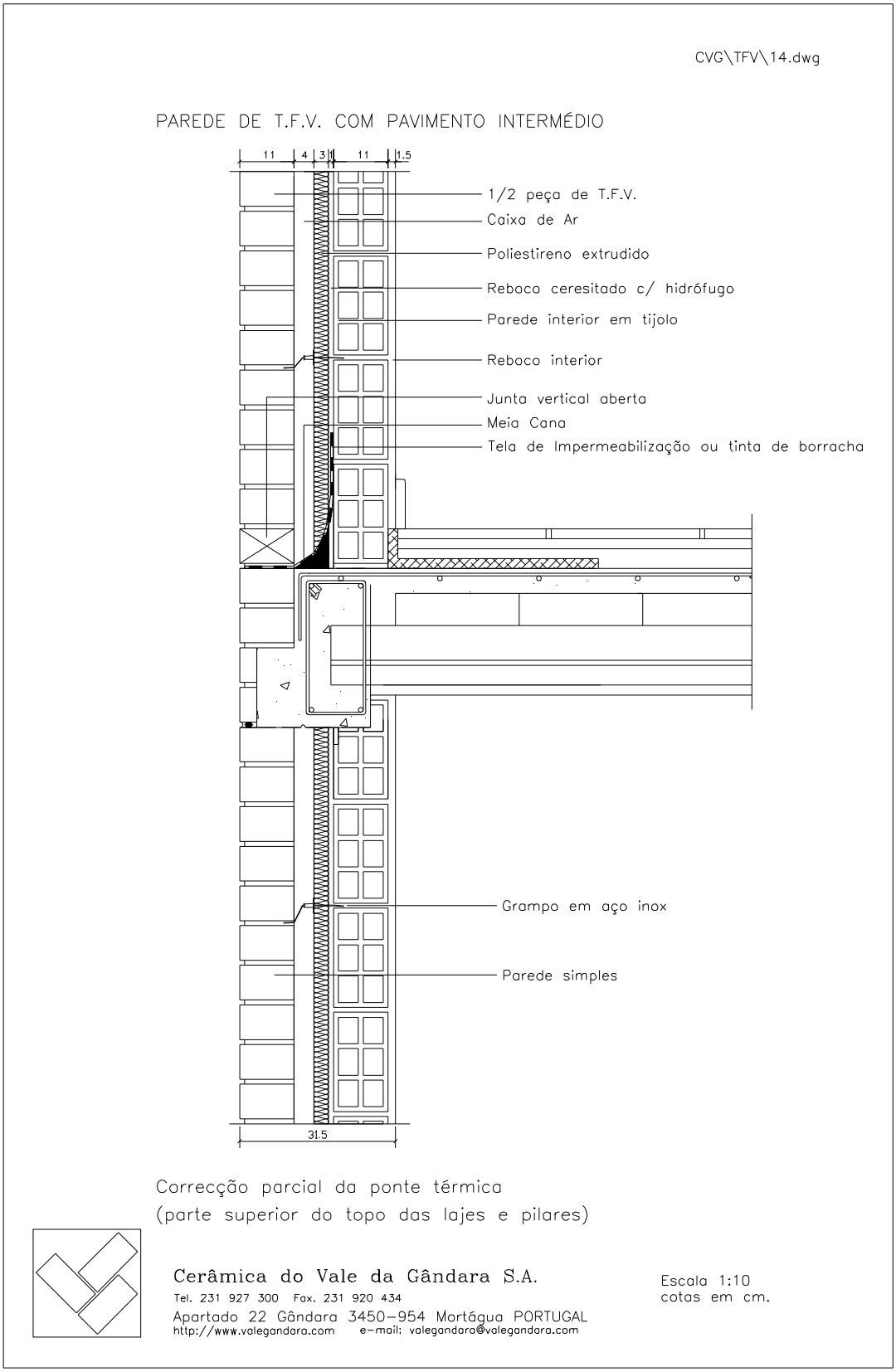
**A 1 – Parede dupla com um ou dois panos de alvenaria em TFV (Manual, 2006).**



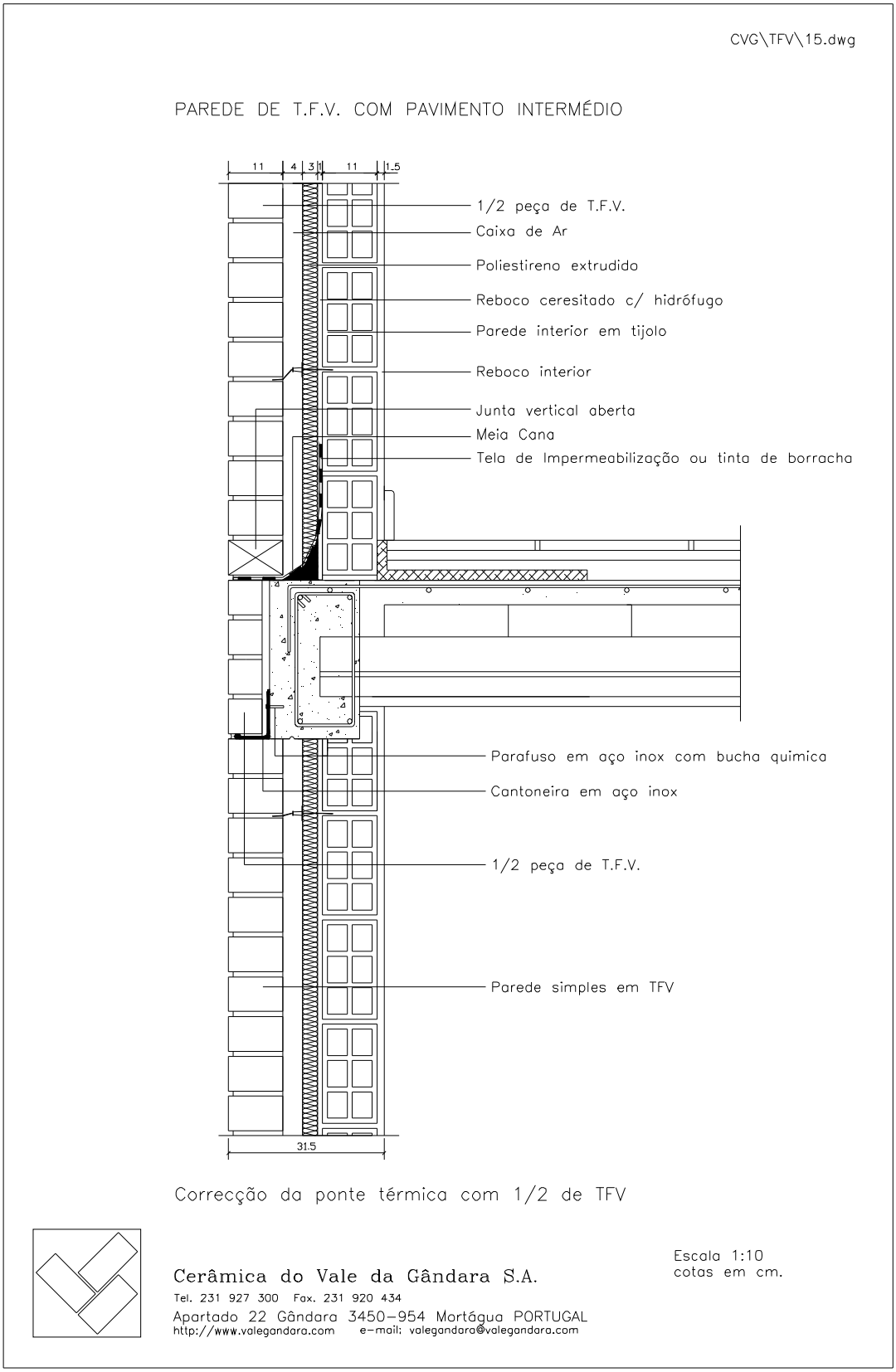

**A 2 – Parede dupla com pano exterior em TFV (Manual, 2006).**



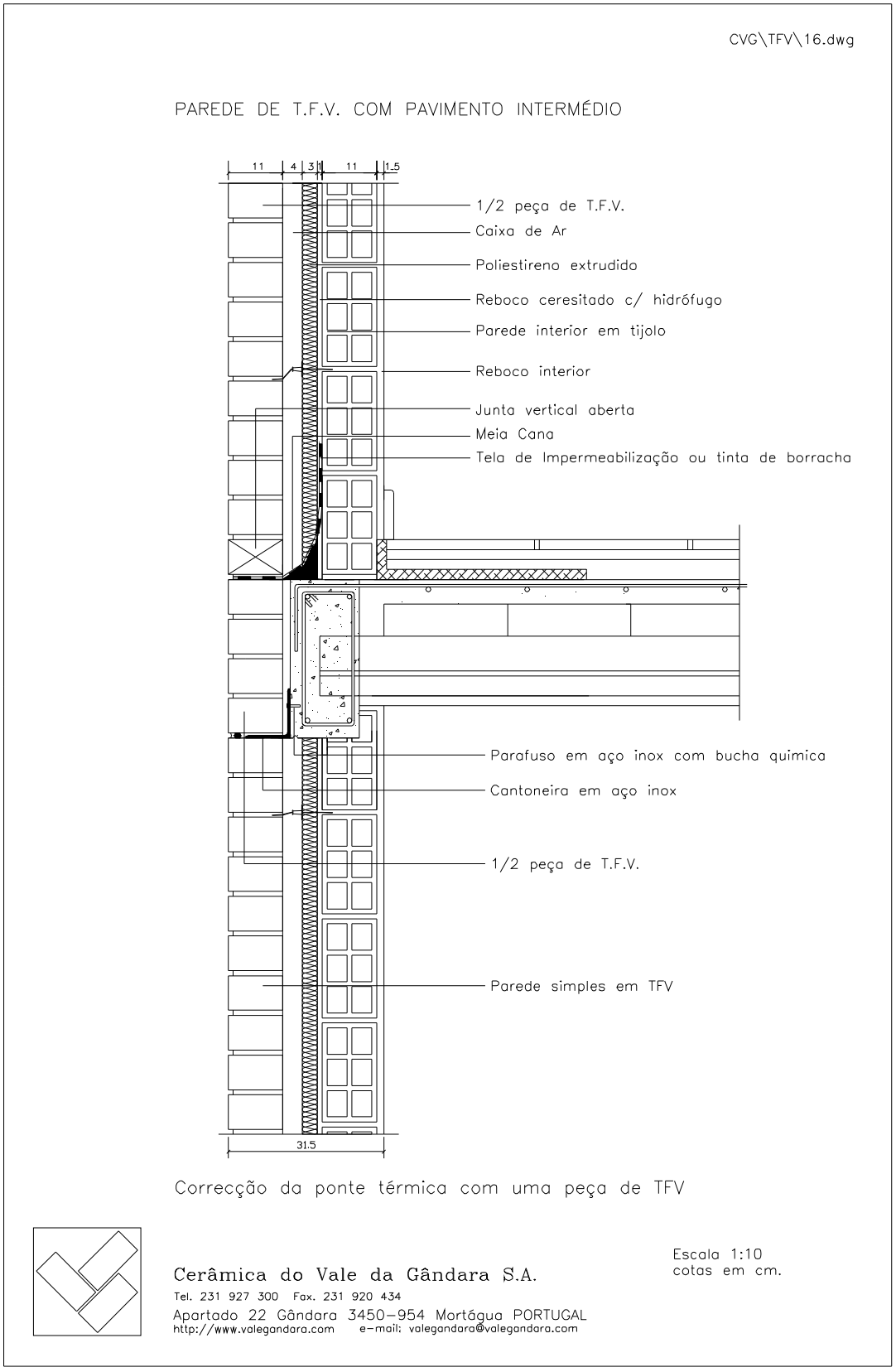

**A 3 – Fachada de TFV com revestimento total do piso de betão com forra cerâmica (Manual, 2006).**



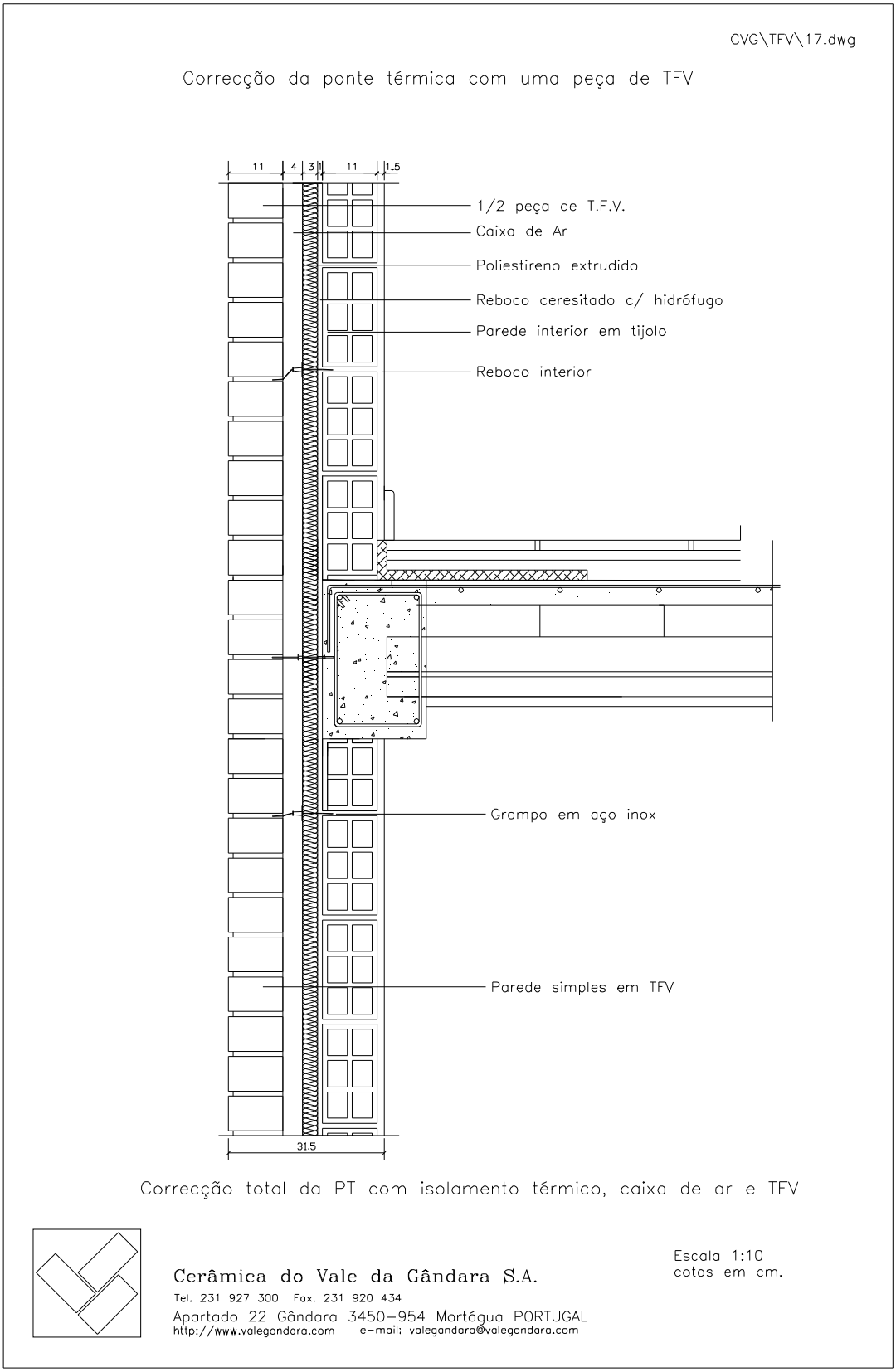

**A 4 – Fachada de TFV com revestimento parcial do piso de betão com forra cerâmica (Manual, 2006).**



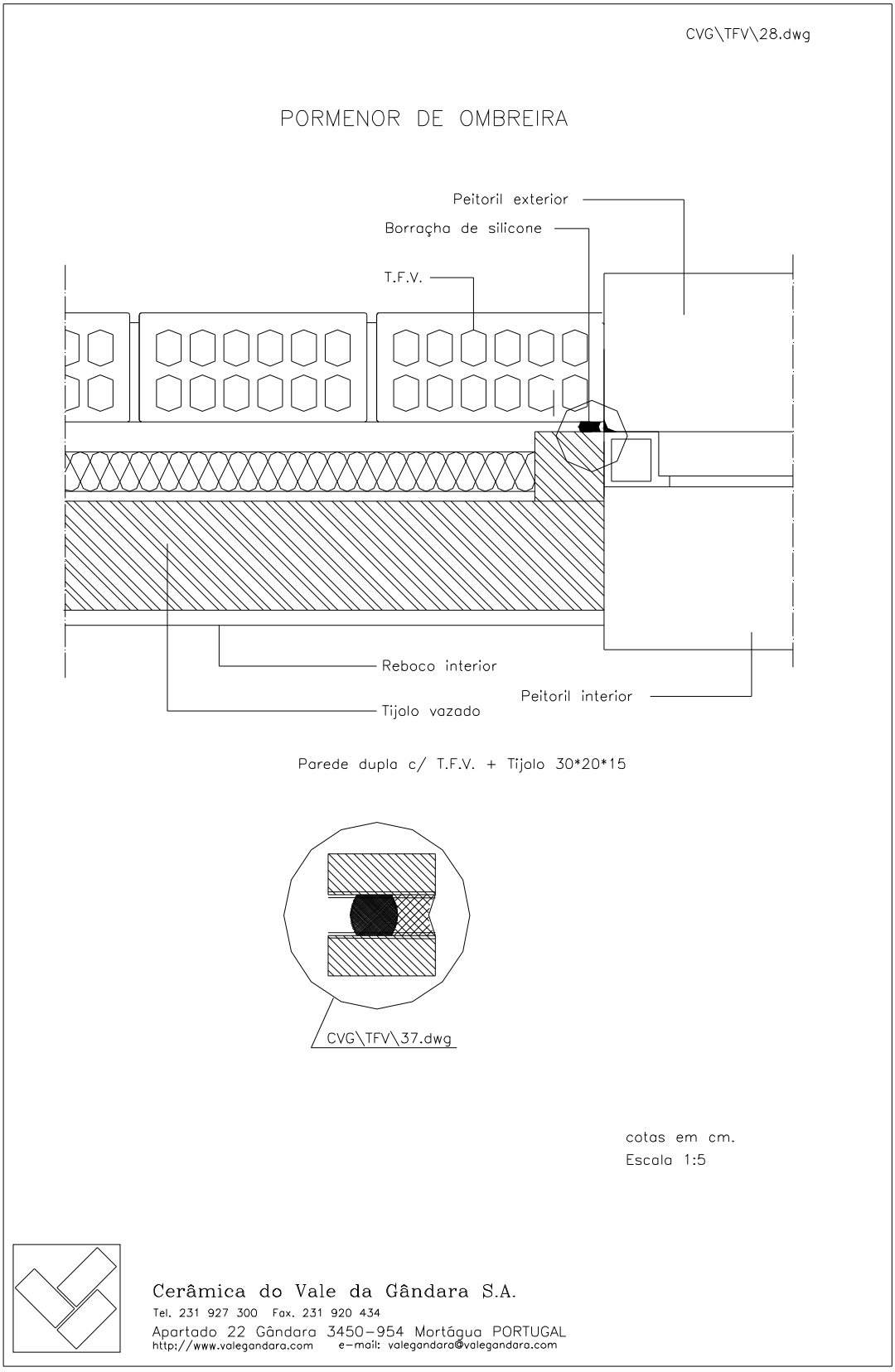

**A 5 – Fachada de TFV com revestimento piso de betão com meias peças de TFV e cantoneira de sustentação (Manual, 2006).**



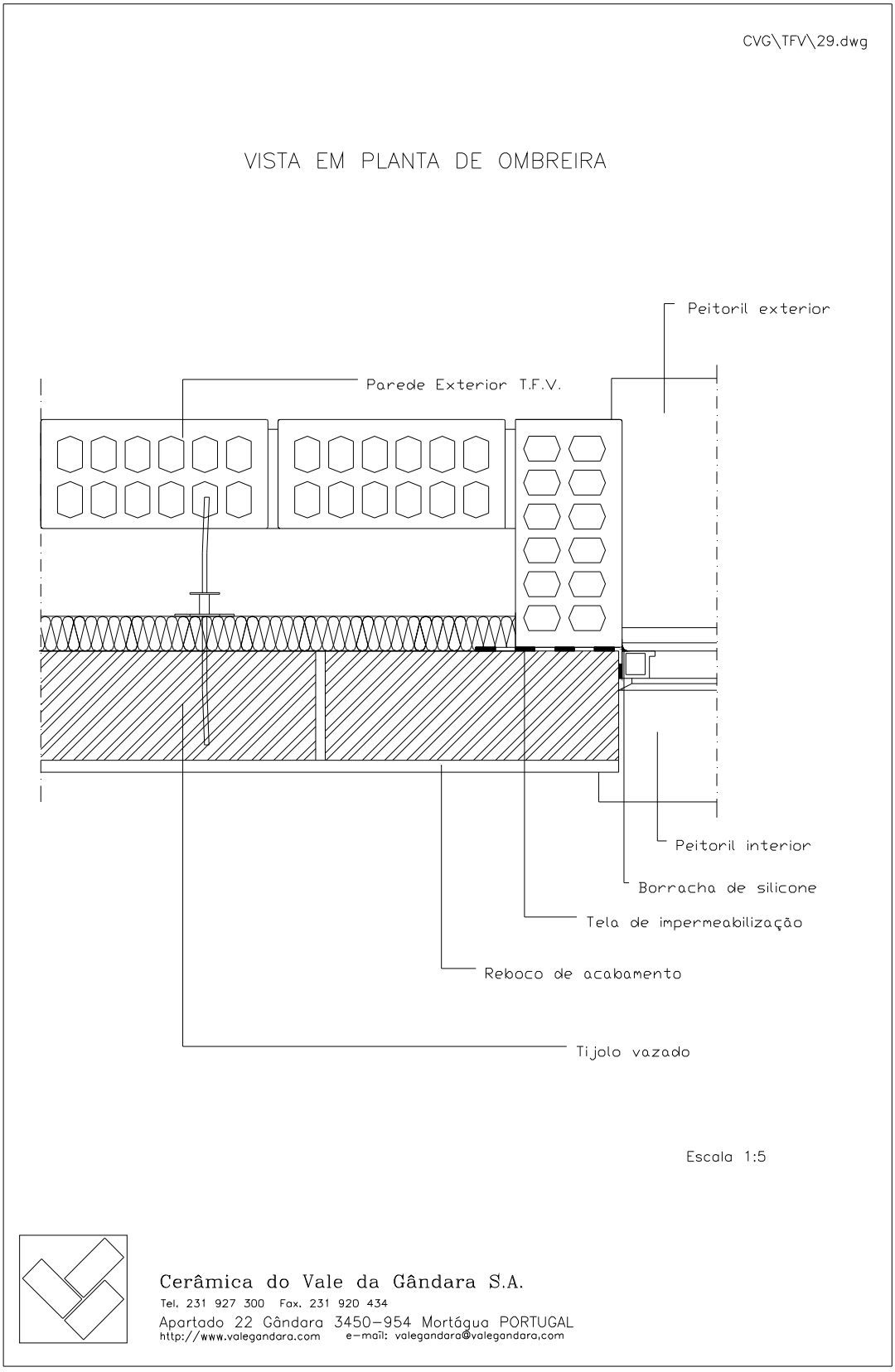

**A 6 – Fachada contínua de TFV com caixa-de-ar interrompida (Manual, 2006).**



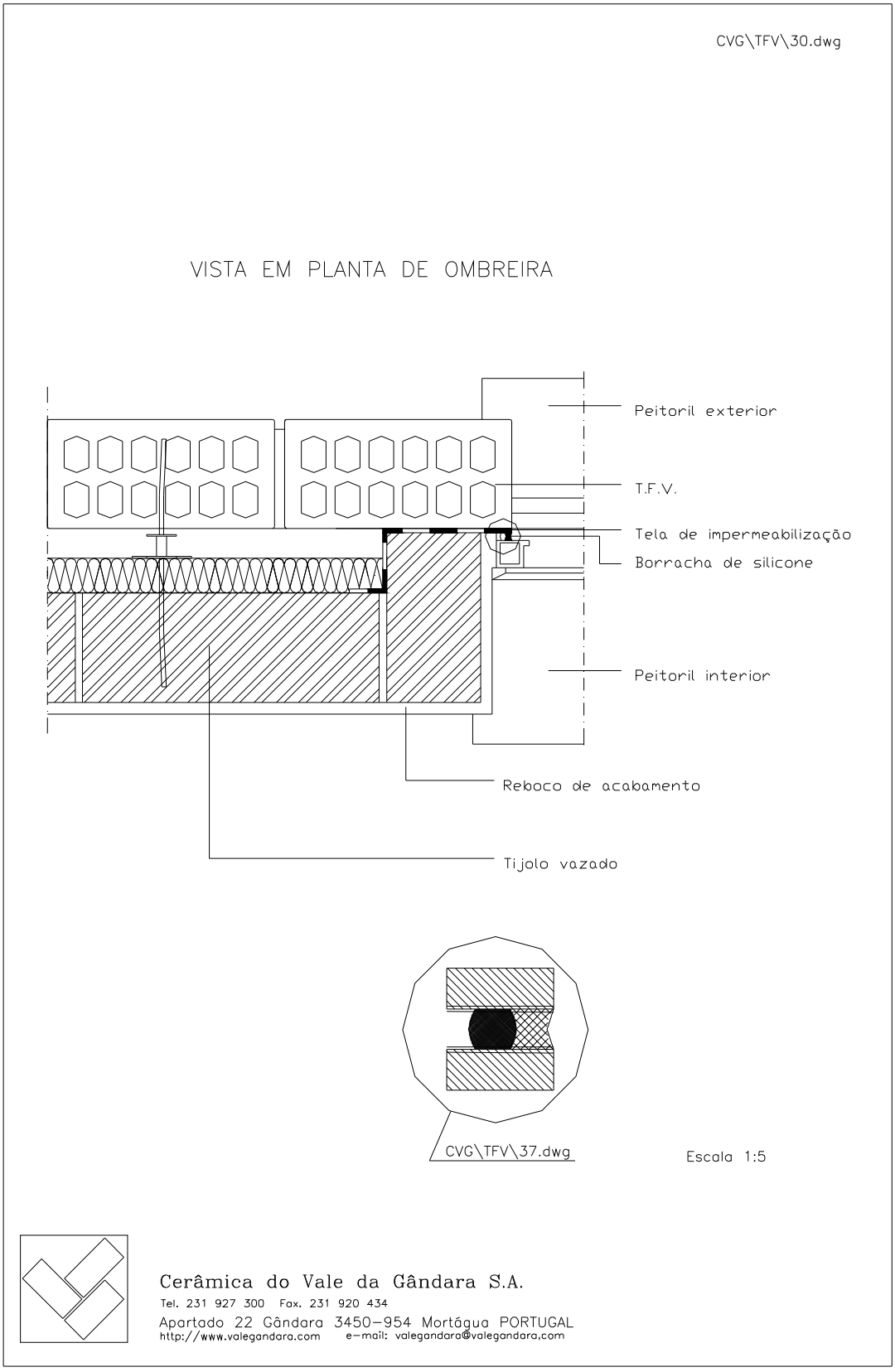

**A 7 – Fachada de TFV com continuidade de isolamento térmico (Manual, 2006).**



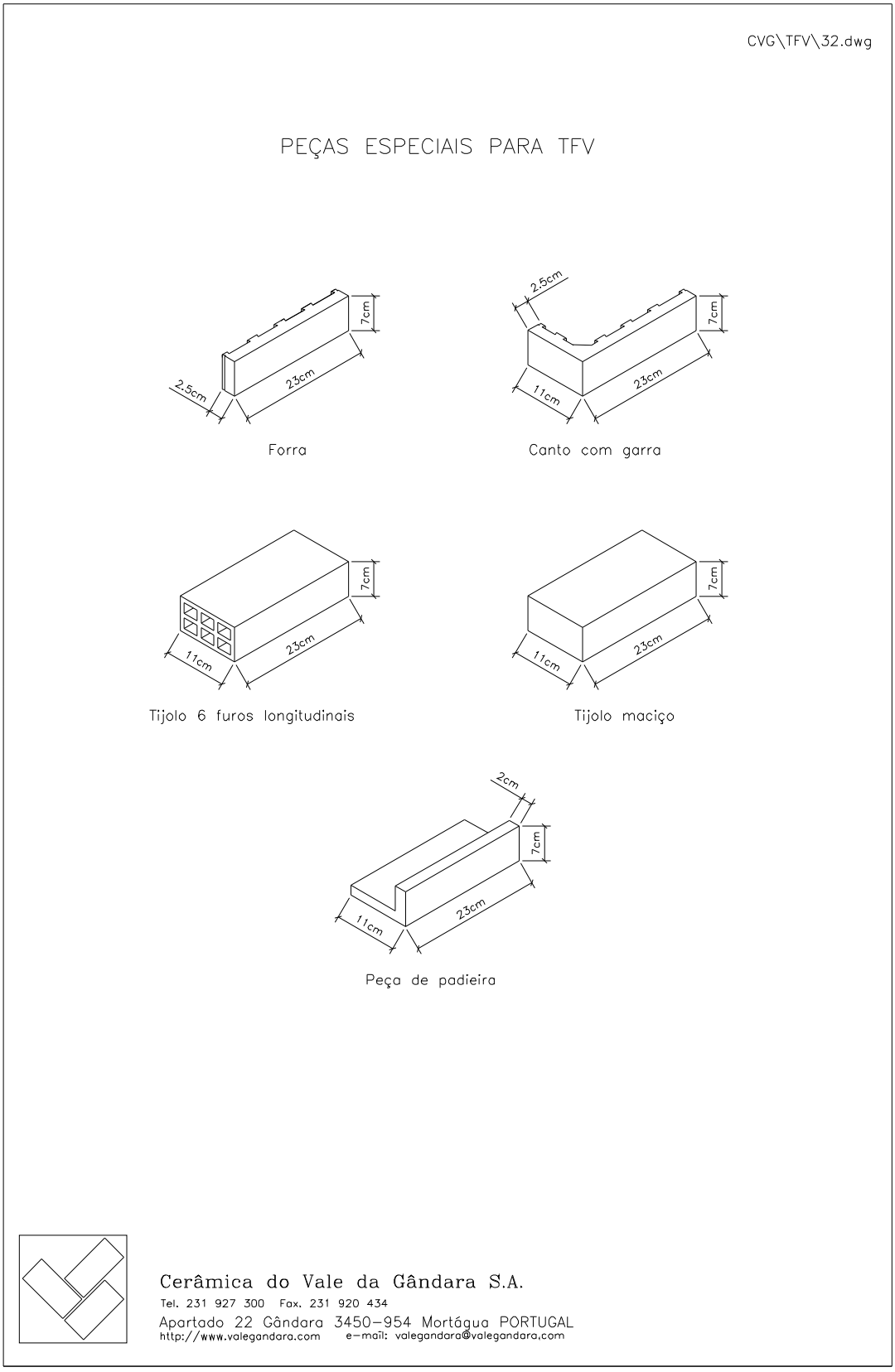

**A 8 – Interrupção da ponte de humidade numa ombreira com aplicação de silicone (Manual, 2006).**



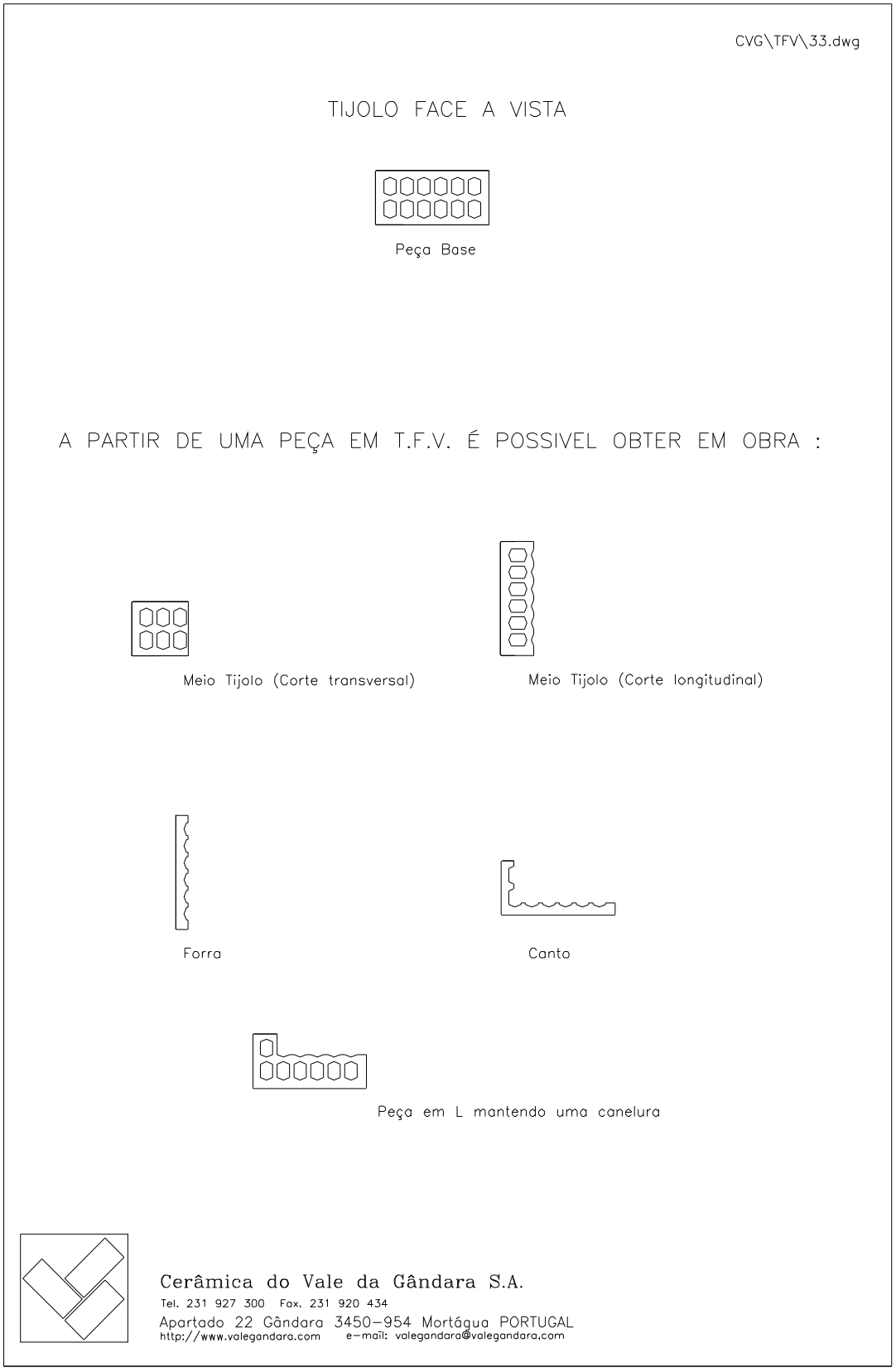

**A 9 – Interrupção da ponte de humidade numa ombreira com aplicação de tela impermeabilizante (Manual, 2006).**



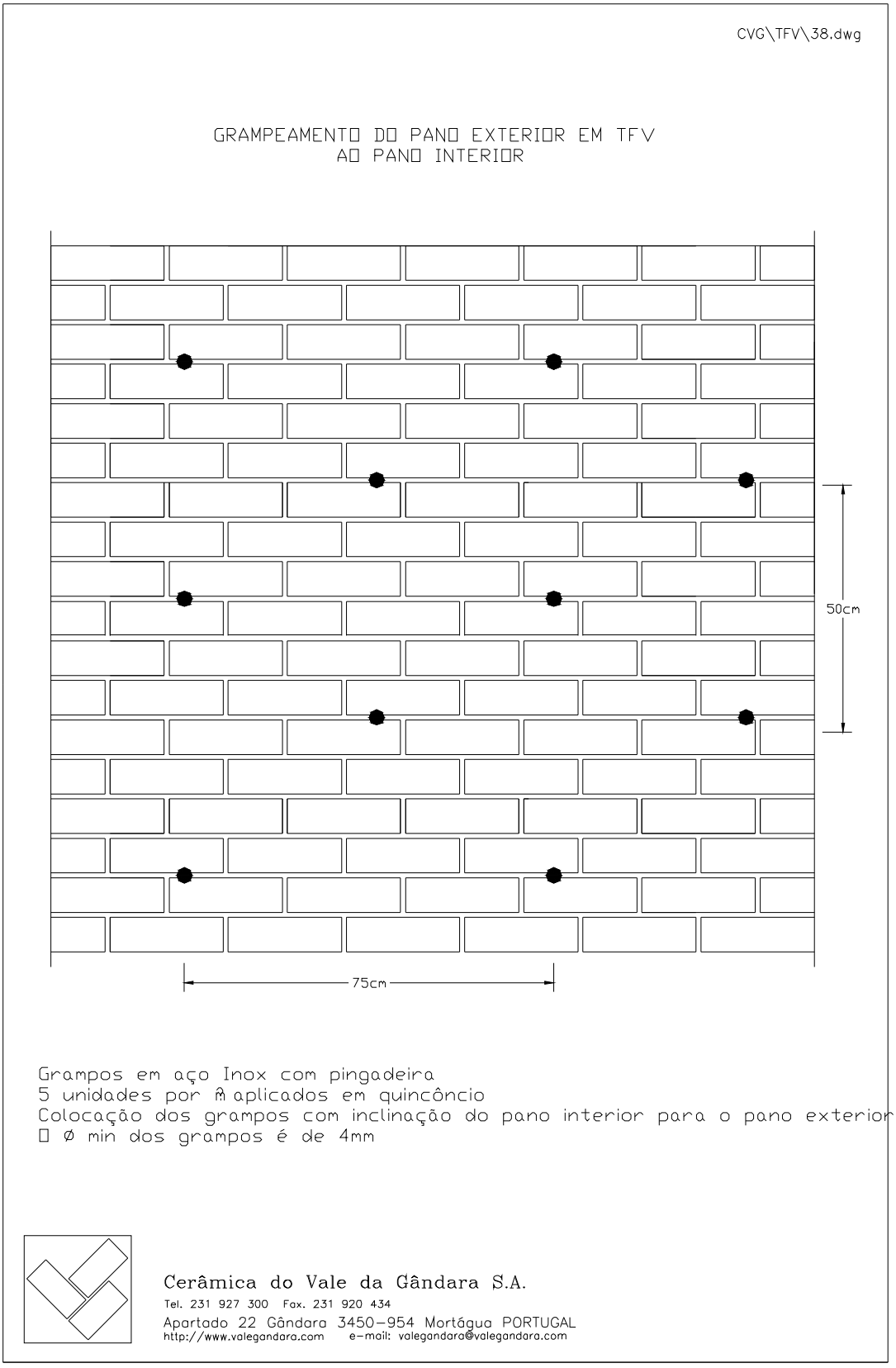

**A 10 – Interrupção da ponte de humidade numa ombreira com aplicação de tela impermeabilizante e silicone (Manual, 2006).**




**A 11 – Peças especiais para TFV comercializadas pela CVG (Manual, 2006).**



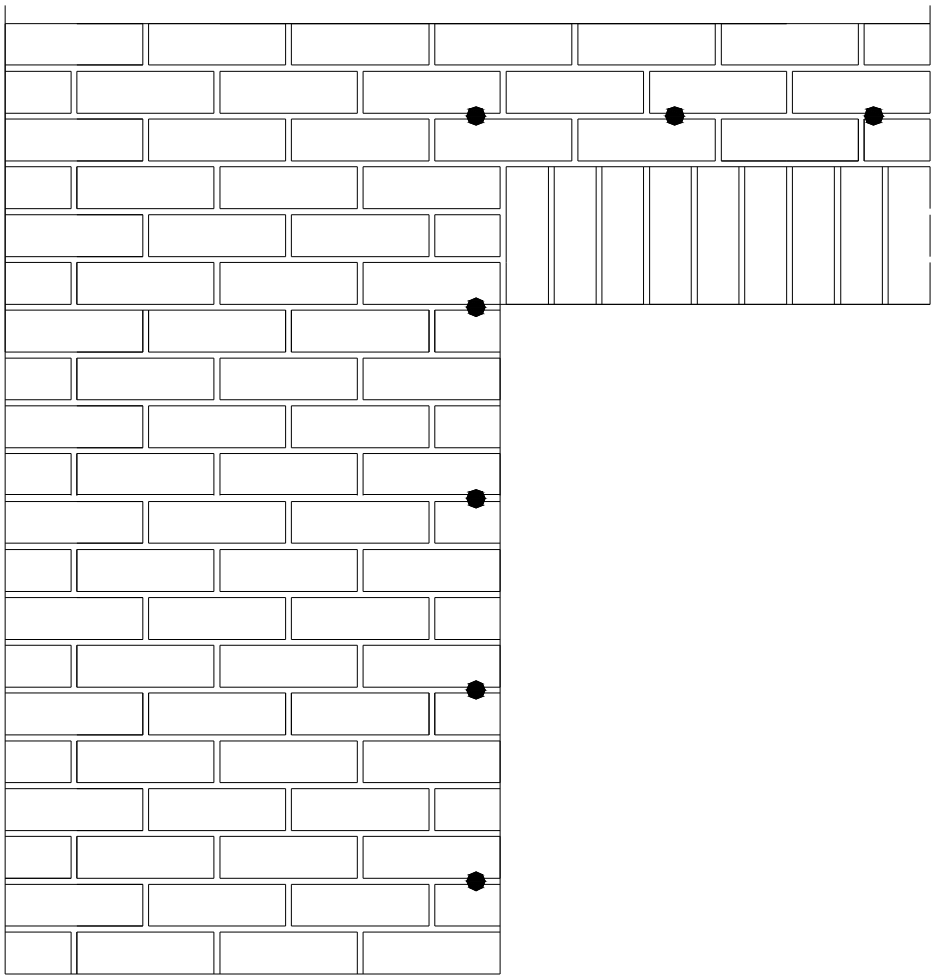

**A 12 – Peças especiais que é possível obter a partir de um TFV (Manual, 2006).**




**A 13 – Distribuição dos grampos de ancoragem do pano exterior de alvenaria em TFV ao pano interior (Manual, 2006).**

CVG\TFV\39.dwg

REFORÇO DO GARAMPEAMENTO NAS PADIEIRAS, OMBREIRAS,
JUNTAS DE DILATAÇÃO E JUNTAS DE DILATAÇÃO DE CUNHAL



Grampos em aço Inox com pingadeira
3 unidades por metro linear
A colocação dos garampos com inclinação do pano interior para o pano exterior

Cerâmica do Vale da Gândara S.A.
Tel. 231 927 300 Fax. 231 920 434
Apartado 22 Gândara 3450-954 Mortágua PORTUGAL
http://www.valegandara.com e-mail: valegandara@valegandara.com

**A 14 – Distribuição dos grampos de ancoragem do pano exterior de alvenaria em TFV ao pano interior numa zona de vão (Manual, 2006).**